



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH VÝROBNÍ TECHNOLOGIE PRO ZDVIHACÍ
ZAŘÍZENÍ CHLADIČE TRAKTORU**

PRODUCTION TECHNOLOGY OF A LIFTING EQUIPMENT FOR TRACTOR COOLER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Raiskup

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Martin Raiskup**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výrobní technologie pro zdvihací zařízení chladiče traktoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretický rozbor problematiky zdvihacích zařízení chladiče traktoru. Dále rozbor stávající nabídky na trhu. Případně potřebného strojního či nástrojového vybavení. Rozbor vhodných materiálů a polotovarů pro nedotlivé díly.

Návrh výrobní technologie zvolených součástí, a to včetně kusové a maloseriové výroby, případně varianty pro konvenční a CNC strojní vybavení. Součástí bude i potřebné strojní a nástrojové vybavení. V závěru pak technicko-ekonomický rozbor obou variant a doporučení do budoucna.

Cíle diplomové práce:

- Rozbor a analýza problematiky.
- Varianty řešení.
- Volba nejvhodnějších způsobů řešení.
- Návrh technologie výroby.
- Srovnání se stávajícím stavem výroby, či porovnání variant.
- Zhodnocení dosažených výsledků a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2003. 193 s. ISBN 80-2147-2336-6.

CHLADIL, Josef. Teorie obrábění. 3. přeprac. vyd. Brno: VUT, 1989. 193 s. ISBN 65-137-2224-0.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. Praha: BEN, 2006. 128 s. ISBN 80-7300-207-8.

MARINESCU, Ioan D. Handbook of machining with grinding wheels. Boca Raton, Fla.: CRC/Taylor, 2007. 596 p. ISBN 978-157-4446-715.

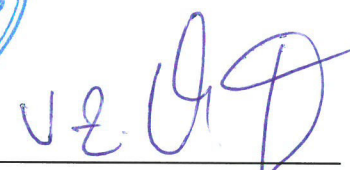
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 24. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem výrobní technologie pro zdvihací zařízení chladiče traktoru. Toto zařízení slouží k usnadnění montáže chladiče při výrobě traktoru. V první části jsou popsány druhy zdvihacích zařízení. V následujících kapitolách jsou navrženy výrobní technologie, stroje a nástroje pro výrobu dané součásti. Jsou navrženy materiály a výrobní postupy pro zhotovení zadané součásti. V závěru jsou pro navržený způsob výroby vypracovány technologické postupy, spočítána časová náročnost a provedeno technicko-ekonomické zhodnocení výroby.

Klíčová slova

zdvihací zařízení, výrobní technologie, třískové obrábění, obráběcí stroj, řezné podmínky

ABSTRACT

The thesis focuses on production technology of the lifting equipment for a tractor cooler. This device is used in order to ease the installation of a cooler during the manufacturing of a tractor. In the first chapter, various types of the lifting equipment are described. In the following chapters manufacturing methods, machines and tools for the production of the specific component are described. Furthermore, materials and manufacturing processes for the complementation of the specific component are proposed. In the conclusion, the methods for the manufacturing are suggested, the timescale is calculated and the technical-economical evaluation is performed.

Key words

lifting equipment, production technology, machining, machine, cutting conditions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAISKUP, Martin. *Návrh výrobní technologie pro zdvihací zařízení chladiče traktoru*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116893>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Oskar Zemčík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh výrobní technologie pro zdvihací zařízení chladiče traktoru** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Martin Raiskup

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. a Ing. Petru Svitálkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 ZDVIHACÍ ZAŘÍZENÍ	10
1.1 Druhy zdvihacích zařízení	10
1.1.1 Zvedáky	11
1.1.2 Kladkostroje	12
1.1.3 Jeřáby	14
1.2 Zdvihací zařízení chladiče	18
2 TECHNOLOGIE	19
2.1 Řezání laserem	19
2.2 Třískové obrábění	20
2.2.1 Obrobitelnost	20
2.2.2 Tříska	21
2.2.3 Řezné podmínky	22
2.2.4 Dotyková sonda RENISHAW	23
2.2.5 Řezná kapalina	25
3 STROJE A NÁSTROJE	26
3.1 Stroje	26
3.1.1 Příprava polotovarů	26
3.1.2 Konvenční stroje	28
3.1.3 CNC stroje	29
3.2 Nástroje	32
3.2.1 Nástroje pro vertikální obráběcí centrum	32
3.2.2 Nástroje pro soustružnické obráběcí centrum	36
4 NÁVRH MATERIÁLU A VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	40
4.1 Popis jednotlivých součástí	40
4.2 Volba materiálu	41
4.2.1 Statický rozbor	41
4.2.2 Materiál čepu	46
4.3 Volba polotovarů	48
4.3.1 Přídavek na obrábění	48

4.3.2	Rozvinuté délky polotovarů pro ohýbání.....	51
4.3.3	Řezání součástí na laseru	52
5	NÁVRH VÝROBNÍHO POSTUPU.....	54
5.1	Výrobní postupy obráběných součástí	54
5.1.1	Vedení	54
5.1.2	Kroužek	58
5.1.3	Čep.....	59
5.1.4	Zámek	62
5.2	Tepelné zpracování.....	63
5.3	Svařování	64
5.4	Dokončovací operace	65
6	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	66
6.1	Řezání laserem	66
6.2	Třískové obrábění	67
6.3	Tepelné zpracování.....	76
6.4	Ohýbání	77
6.5	Svařování	77
6.6	Dokončovací práce	77
6.7	Celková časová náročnost výroby	78
6.8	Malosériová výroba	79
7	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	80
7.1	Technické zhodnocení	80
7.2	Ekonomické zhodnocení	80
	ZÁVĚR.....	84
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

V dnešní době je oblast strojírenství zaměřena hlavně na vysokou přesnost a produktivitu. Na tyto dvě kritéria je kladen důraz také v následující diplomové práci, která se zabývá návrhem výrobní technologie pro zdvihací zařízení chladiče traktoru. Zařízení usnadňuje montáž chladiče do traktoru, který váží 60 kg. Tím také zvyšuje produktivitu daného výrobního procesu a zkracuje jeho časovou náročnost. Toto zařízení je svařenec složený z 11 součástí. Většina součástí je řezána na laseru z plechových tabulí. Některé součásti jsou řezány pásovou pilou z normalizovaných tyčí. Určité díly jsou dále upravovány ohýbáním nebo třískovým obráběním.

Práce klade důraz na třískové obrábění. Technologii třískového obrábění je také věnován nejširší prostor v dané práci. Pro tuto technologii jsou navrženy obráběcí stroje, nástroje a podrobně popsány výrobní postupy. Výrobní postupy jsou navrženy primárně pro výrobu na číslicově řízených strojích, avšak je zde i srovnání s výrobou na konvenčních strojích. Jednotlivé výrobní postupy jsou otestovány ve výrobě, jsou zjištěny možnosti pro zlepšení výroby a spočítána časová náročnost výroby. V závěru práce jsou vyčísleny náklady na výrobu daného zdvihacího zařízení.

1 ZDVIHACÍ ZAŘÍZENÍ

1.1 Druhy zdvihacích zařízení

Zdvihací zařízení můžou být obecně nazývána zdvihadla. Primární funkcí je manipulace břemen a tím usnadnění práce. Obecně se manipulací s materiálem zabývá norma ČSN 26 0002. V dnešní době jsou tato zařízení nenahraditelná při přepravě materiálu, výrobků, kontejnerů a jiných objemných a těžkých břemen ať už ve výrobních halách nebo na volném prostranství. Tato zařízení jsou určena k přepravě břemen od několika kilogramů až po desítky tun. Základním parametrem zdvihacího zařízení je největší dovolená hmotnost břemene – nosnost. Mezi další důležité parametry patří výška zdvihu a rychlost zdvihání. [1]

Dělení zdvihadel [1]:

- zvedáky,
 - šroubový,
 - hřebenový,
 - hydraulický,
 - pneumatický,
- kladkostroje,
 - násobné,
 - diferenciální,
 - šroubové,
 - s elektrickým pohonem,
- jeřáby,
 - mostové,
 - portálové,
 - konzolové,
 - sloupové,
 - věžové,
 - lanové,
- navíjeda,
 - navijáky,
 - vrátky.

Do skupiny zdvihacích zařízení jsou dále zařazeny výtahy, pohyblivé pracovní plošiny, zdvižné vozíky, závěsné dopravníky, nakladače, mechanické rampy, výsuvné žebříky a další pomocná manipulační zařízení i prostředky pro vázání a uchopování břemen [1].

1.1.1 Zvedáky

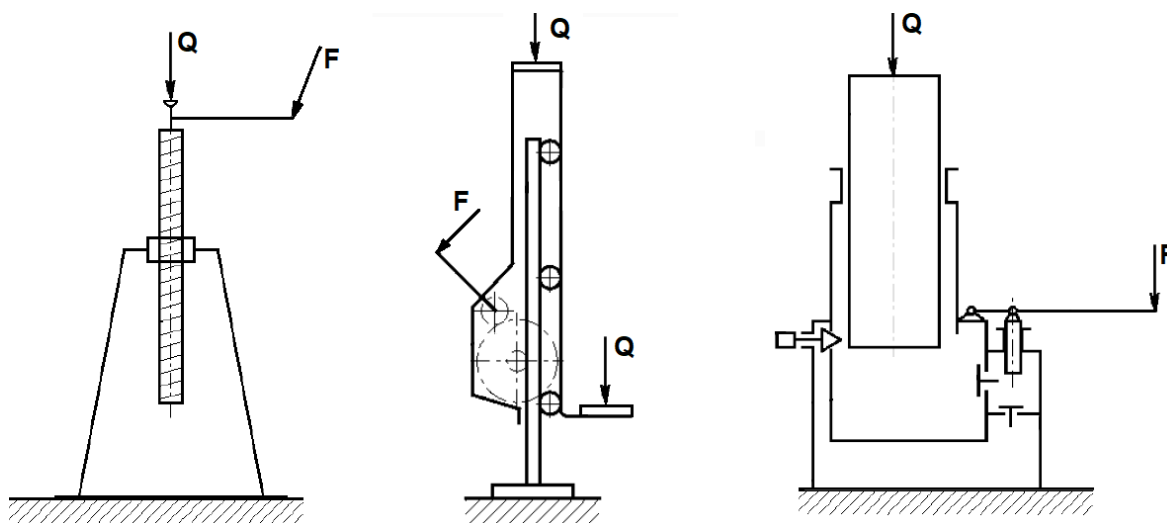
Zvedací zařízení, které slouží k zvednutí břemene na malou výšku, a to v řádu několika centimetrů. Zvedáky jsou schopny při malém zdvihu vyvinout velkou sílu. Zvedák se skládá ze tří základních částí. První je tuhý zvedací člen, podle kterého se zpravidla určuje druh zvedáku. Zvedací člen může být v podobě šroubu, hřebenové tyče nebo pístu. Druhým členem je převodové ústrojí sloužící k přenosu síly. Poslední částí je stojan, na kterém jsou umístěny předešlé dvě součásti [1].

Šroubový zvedák - jednoduchý, lehký a bezpečný mechanismus. Šroub je uložen v matici na stojanu. Na šroub je upevněna také otočná opěrka, která slouží k upevnění otočné páky. Pomocí otáčení páky šroub stoupá v závitě a zdvihá břemeno [1].

Hřebenový zvedák - je opatřen několikanásobným ozubeným převodem. Pomocí kliky a ozubených převodů je otáčeno s pastorkem. Ten pohání ozubený hřeben, který zdvihá břemeno. Pro brzdění mohou být opatřeny zdržemi [1].

Hydraulický zvedák - vyznačuje se vysokou účinností a nosností. Skládá se z několika pístů a ventilů. Pákou se zvýší tlak na píst čerpadla v nádrži na kapalinu. Tlak kapaliny vytlačí zvedací píst a zvedne břemeno. Zvedák je možné uvolnit pomocí přepouštěcího ventilu [1].

Pneumatický zvedák - tento typ zvedáku má menší účinnost, avšak dobře regulovatelnou rychlost zdvihu. Ta se reguluje pomocí stlačeného vzduchu. Ten je pro funkci pneumatického zvedáku nezbytný. Ovládací pákou se reguluje množství přivedeného stlačeného vzduchu pod zvedací píst, který zdvihá břemeno [1].



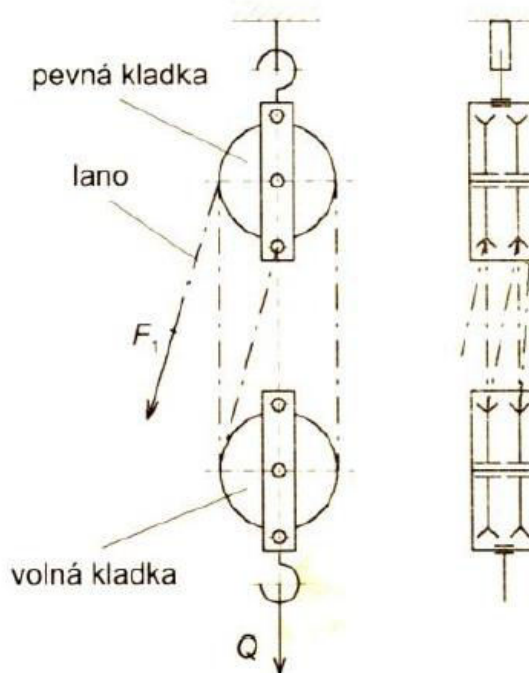
Obrázek 1-1 - Schéma zvedáku: a) šroubový b) hřebenový c) hydraulický [1].

Tabulka 1-1 - Parametry zvedáků [1].

Typ zvedáku	Účinnost [-]	Nosnost [t]	Zdvih [mm]
Šroubový	0,3–0,4	2–35	100-400
Hřebenový	0,6–0,8	2,5-30	350-550
Hydraulický	0,7–0,9	3–200	150-300
Pneumatický	0,8–0,9	0,2–1,5	500-1800

1.1.2 Kladkostroje

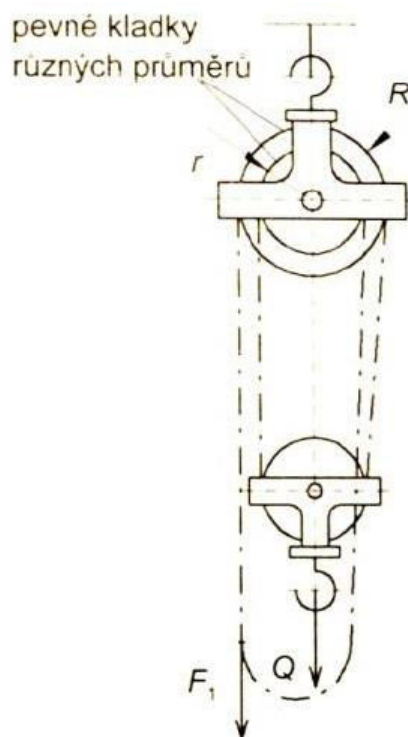
Kladkostroje jsou jednoduché mobilní zdvihací zařízení. Tyto zařízení mají poměrně malou hmotnost a velikost. Jsou zavěšeny ocelovým hákem na nosnou konstrukci nebo kočku pojíždějící po jeřábové dráze. Břemena jsou zvedána pomocí lana nebo řetězu. Od toho se také odvíjí maximální nosnost, která může být i několik desítek tun. Kladkostroje se dělí podle pohonu na ruční a elektrické. U ručních je zabráněno v klesání břemene pomocí brzdy s rohatkovým ústrojím, u elektrických je elektromagnetická brzda. Elektrické jsou ovládány dálkově. Kladkostroje mohou mít více kladek, kdy s každou další kladkou klesá síla potřebná ke zvednutí břemene. Tyto násobné kladkostroje jsou součástí mechanismu jeřábů [1].



Obrázek 1-2 - Násobný kladkostroj [1].

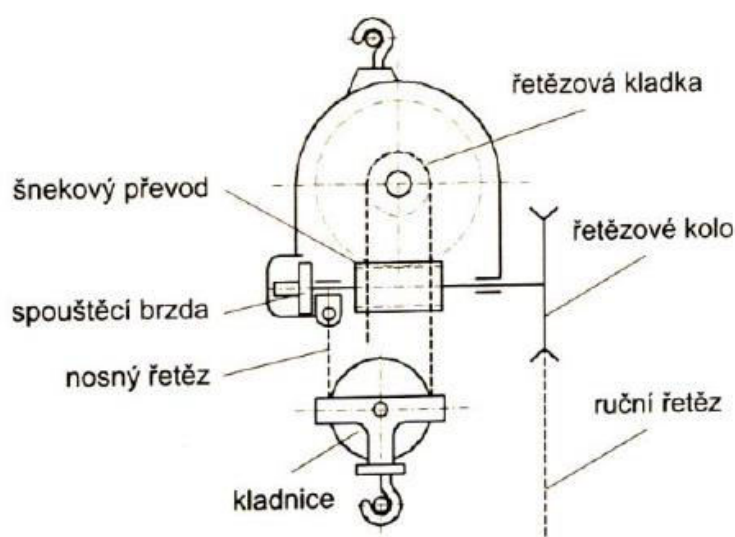
Násobný kladkostroj – skládá se ze dvou částí – volné a pevné. Každá část se skládá z jedné nebo více kladek. Pevná část je zavěšena na nosné konstrukci a pouze se otáčí. Volná část se otáčí i pohybuje svisle současně s lanem. Břemeno je zavěšeno na volné části. Lana jsou konopná nebo ocelová. Platí úměra, kdy se s přibývajícím počtem kladek násobně zmenšuje síla [1].

Diferenciální kladkostroj – na rozdíl od násobného kladkostroje má pevná část dvě kladky rozdílného průměru, avšak se stejnou osou otáčení. Volná část má jednu kladku. Kladka je vybavena nosným nekonečným lanem nebo řetězem. Tímto lanem se zdvihá nebo spouští volná kladka s břemenem. Problémem tohoto kladkostroje je velké opotřebení nosného řetězu [1].



Obrázek 1-3 - Diferenciální kladkostroj [1].

Šroubový kladkostroj – tento typ kladkostroje je navíc vybaven šroubovým převodem. Ten je otáčen ručním řetězem. Šroubový převod dále otáčí s šnekovým kolem s řetězovou kladkou, na kterou se navíjí nosný řetěz. Jeden konec řetězu je propojen s řetězovou kladkou, na druhém volném konci je hák pro břemeno. Zařízení je vybaveno brzdou s rohatkovým ústrojím a západkou [1].



Obrázek 1-4 - Šroubový kladkostroj [1].

Kladkostroje s elektrickým pohonem – hlavními výhodami oproti ručním kladkostrojům jsou menší rozměry a hmotnost, vyšší výkon a vyšší zdvihací rychlost. Součástí kladkostroje je elektromotor. Ten je uložen ve skříni společně s převodovkou, která přenáší mechanickou práci na buben, kde je zavěšen nosný hák. Tato zařízení jsou ovládána dálkově [1].

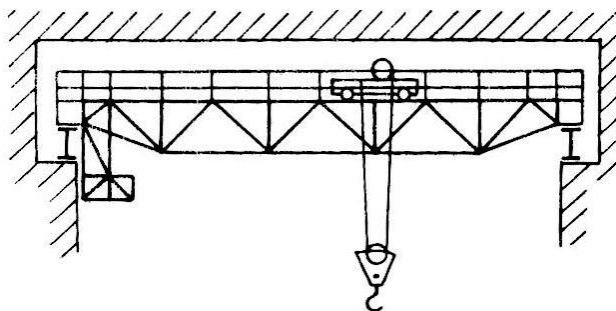
Tabulka 1-2-Parametry kladkostrojů [1].

Typ kladkostroje	Účinnost [-]	Nosnost [t]
Násobný	0,98 (klesá s počtem kladek)	Ocelové lano 1–8 Konopné lano 0,1-3
Diferenciální	0,5–0,6	Řetěz 0,1-1
Šroubový	0,55–0,7	Řetěz 0,5-20
Elektrický	0,8–0,9	Řetěz/lano 0,2–50

1.1.3 Jeřáby

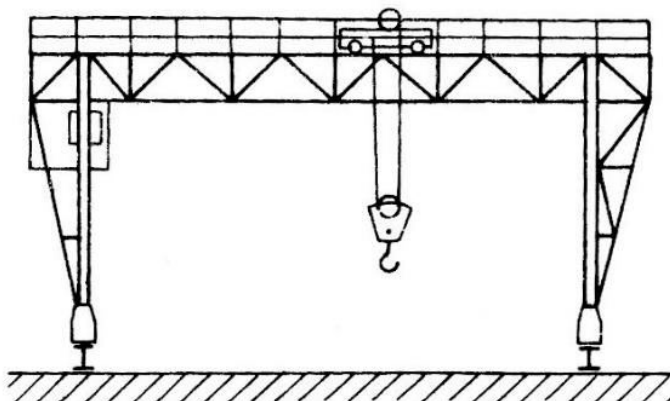
Jsou to zařízení sloužící ke zdvihání těžkých břemen, a to jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru. Jejich nosnost může dosahovat i několik stovek tun. Mezi základní části jeřábu patří ocelová konstrukce, hák, lano, kladka, buben, pohon a brzda. Kladky se vyrábí z oceli na odlitky nebo šedé litiny podle normalizovaných rozměrů. Buben slouží k navíjení lana, které je k němu přichyceno klínem nebo příložkami. Pohon je nejčastěji elektromotor [2].

Mostový jeřáb – určený pro provoz v halách. Jeřáb pojíždí po stěnách haly. Skládá se z nosné konstrukce – mostu. Most je tvořen I-profilem nebo u větších jeřábů příhradovou konstrukcí. Ta je umístěna na protějších stěnách haly. Na mostu je pojízdná kočka s kladkostrojem. Most, kočka i kladkostroj jsou poháněny elektromotory. Ty jsou ovládány pomocí závěsného ovladače [2].



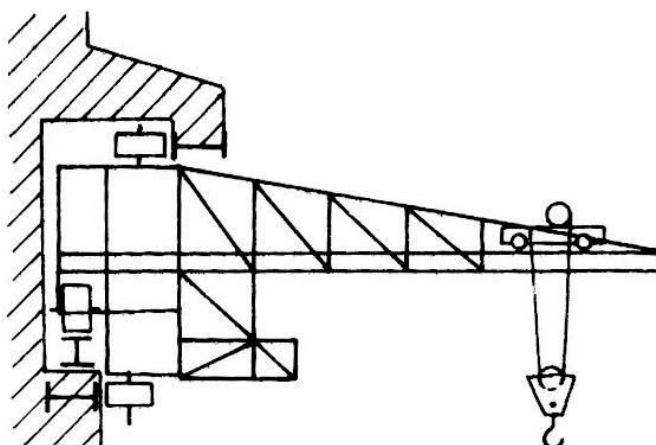
Obrázek 1-5 - Mostový jeřáb [2].

Portálový jeřáb – podobný mostovému jeřábu, avšak s tím rozdílem, že se hýbe celá konstrukce včetně svislých stěn. Jeřáb popojíždí po kolejnicích. Jejich časté použití je u velkých těžkých břemen ve venkovních prostorech. Speciální typ portálového jeřábu je namísto jeřábové kočky vybaven otočným kloubovým výložníkem. Ten má velký akční rádius. Tento specifický typ se používá například v přístavech [2].



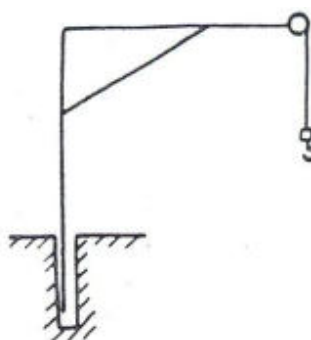
Obrázek 1-6 - Portálový jeřáb [2].

Konzolový jeřáb – rameno je umístěno na jedné stěně haly. Jsou dva typy ramen. Pojízdné rameno pojíždí po dráze na stěně nebo otočné rameno, které je ukotveno v jednom bodě a pouze se v určitém rozsahu otáčí [2].



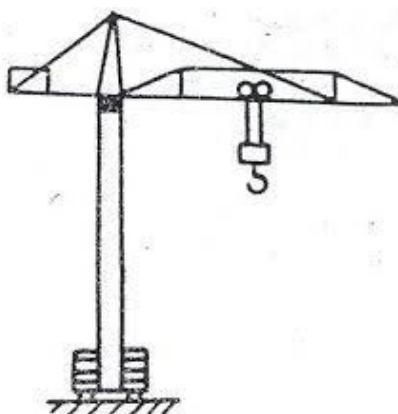
Obrázek 1-7 - Konzolový jeřáb [2].

Sloupový jeřáb – jeřáb je tvořen hlavním nosníkem s kočkou a kladkostrojem. Na rozdíl od konzolového jeřábu je zde nosník připevněn na otočném nosném sloupu. Ovládání je tak jako u konzolového ruční nebo elektrické [2].



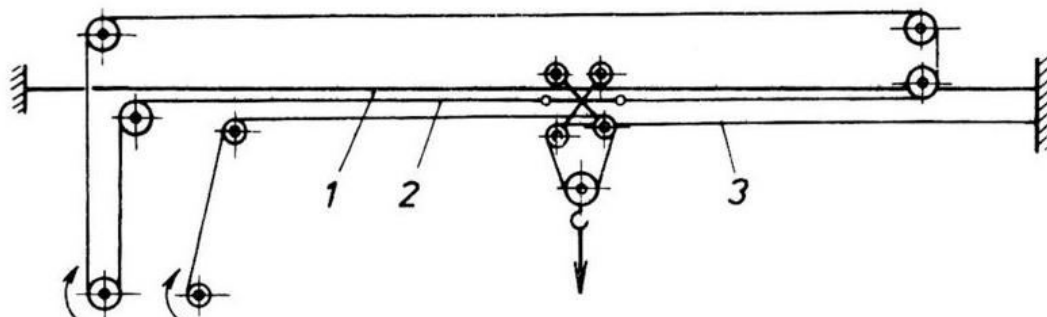
Obrázek 1-8 - Sloupový jeřáb [2].

Věžový jeřáb – jeřáby s velkými zdvihy. Skládají se z věže, kterou tvoří velké příhradové konstrukce. Výložník je vyvažován protizávažím. Charakteristické použití ve stavebním průmyslu [2].



Obrázek 1-9 - Věžový jeřáb [2].

Lanový jeřáb – skládá se z několika lan. Nosné lano drží zařízení. Na zdvihacím laně je zavěšeno břemeno. Pomocí tažného lana se pohybuje s kočkou a posunuje břemeno. Vhodné pro velká rozpětí [2].



Obrázek 1-10 - Lanový jeřáb [2].

Zdvihací média

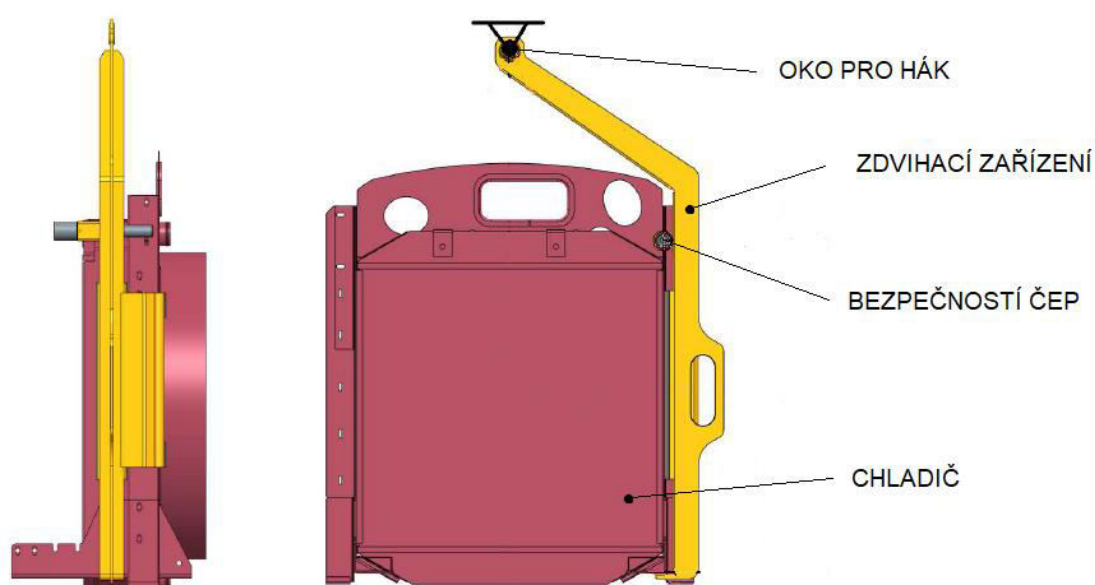
Mezi nejčastěji používaná zdvihací patří konopné lano, ocelové lano nebo řetěz. Lana jsou lehčí, pružnější, mají větší rychlost zdvihu a nejsou hlučné. Řetězy mají menší rychlost zdvihu, ovšem disponují vyšší odolností [3].

Tabulka 1-3-Parametry zdvihacích médií [3].

Materiál	Pevnost [MPa]	Nosnost [t]
Konopné lano (Ø 10 mm)	150	0,6
Řetěz (Ø 10 mm)	600	3
Šestipramenné ocelové lano (Ø 10 mm)	1800	6
Vícepramenné ocelové lano (Ø 20 mm)	1800	27

1.2 Zdvihací zařízení chladiče

Toto zařízení slouží k manipulaci s chladičem při jeho montáži do traktoru. Je zavěšeno v montážní hale na jeřábu. Zařízení usnadňuje a urychluje práci operátorů. Operátoři nemusí ručně přenášet chladič, který váží přibližně 60 kg. Popřípadě tento chladič přivazovat vazáky na hák mostového jeřábu v hale. Toto zdvihací zařízení slouží ke zvýšení plynulosti výrobního procesu, k jeho usnadnění a zrychlení. Zařízení je vyrobeno přímo pro určitý typ chladiče. Je navrženo tak, aby se na chladič pouze z boku nasunulo a zajistilo čepem. Oko pro hák je navrženo tak, aby bylo co nejbližže těžišti přepravovaného dílu, a tím se zabránilo většímu naklánění při manipulaci s chladičem.



Obrázek 1-11 - Popis zdvihacího zařízení chladiče.

2 TECHNOLOGIE

Diplomová práce je primárně zaměřena na technologii třískového obrábění, avšak jsou popsány i další technologie jako řezání laserem, ohýbání nebo svařování, které jsou nezbytné pro zhotovení daného zdvihacího zařízení.

2.1 Řezání laserem

Základním principem řezání laserem je vytvoření počátečního průpalu v materiálu a následným postupným odtavováním materiálu. Rovnoběžný paprsek, který dosahuje hustoty až 10^8 W.cm^{-2} , je zaostřen do ohniska. Dochází k tavení materiálu a vzniká spára vyplněna roztaveným kovem. Roztavený kov je ze spáry odstraněn řezným plynem. Řezným plynem je kyslík – oxidační řezání, případně dusík – sublimační a tavné řezání. Kyslík je vhodný pro řezání nízkolegovaných ocelí. Dusík je vhodnější pro korozivzdornou ocel a barevné kovy. U plynů je požadavek na vysokou čistotu. Lasery jsou v závislosti na výkonu schopny řezat plechy až do tloušťky 25 mm s přesností 0,05 mm a kvalitou řezných ploch až Ra 1,6 s malou šířkou řezné spáry 0,1–0,4 mm [4].

Oxidační řezání

Princip oxidačního pálení laserem spočívá v zahřátí materiálu na zápalnou teplotu a jeho shoření v exotermické reakci v kombinaci s reaktivním plynem. Reaktivním plynem je kyslík, který podporuje hoření v místě řezu. Hoření plynu v místě řezu umožňuje při řezání materiálu větších tloušťek snižovat výkon a tlak reaktivního plynu. Oproti sublimačnímu a tavnému řezání jsou řezné rychlosti zhruba dvakrát vyšší. Kvalita řezu sice není tak dobrá, vzniká drobný otřep na hraně řezu, avšak pro běžné zpracování je jakost povrchu dostačující [5].

Sublimační řezání

Materiál je z místa řezu odpařován v důsledku působení laserového záření vysoké intenzity. Materiál je z řezné spáry vyfukován proudem řezného plynu – nejběžněji dusík. U použití dusíku nedochází k oxidaci materiálu. Řez je kvalitní, hladký a bez otřepů, díky tomu, že je materiál spíše odpařován a minimálně taven. Metoda využívána pouze u tenkých plechů nebo tenkých folií [5].

Tavné řezání

Tavné řezání vyžaduje nižší výkony než sublimační řezání jelikož dochází pouze k tavení materiálu. Ten je z řezné spáry vyfukován proudem inertního technologického plynu. Inertní plyn může být například dusík, který je vyfukován pod velkým tlakem. Oproti oxidačnímu řezání vzniká menší tepelně ovlivněná oblast. Rychlost řezání tímto způsobem je nižší [5].

Výhody řezání laserem:

- obvodové rozměry lze řezat na čisto – vysoká přesnost,
- složité tvary i se složitými detaily s ostrými úhly,
- lze přímo řezat drážky a otvory s pravoúhlou řeznou hranou,
- otvory v přesnostech a drsnostech povrchu lepším než po vrtáku,
- možnost značit otvory s velkou přesností – gravírování,
- minimální nutnost zabrušování hran.

2.2 Třískové obrábění

Třískové obrábění je proces oddělování přebytečného materiálu z polotovaru pomocí břitů řezného nástroje. Materiál je oddělován v podobě třísek. Tímto procesem se vytváří součást požadovaných rozměrů, tvaru a jakosti povrchu. Třískovým obráběním lze obrábět širokou škálu materiálů. Různé materiály mají různou obrobiteľnosť a z toho plynoucí odlišené doporučené řezné podmínky. U oceli se obrobiteľnosť odvíjí od tepelného zpracování, množství legujících prvků a způsobu výroby. U nízkouhlíkové oceli jsou problémy se vznikem nárůstku a s tvorbou otřepů na obrobku.

Touto technologií jsou vyráběny součásti číslo 4, 5 a 11. To je vedení bezpečnostního čepu, bezpečnostní čep a kroužek zesilující oko pro hák. Volba materiálu a výrobní postupy jsou popsány v následujících kapitolách.

2.2.1 Obrobiteľnosť

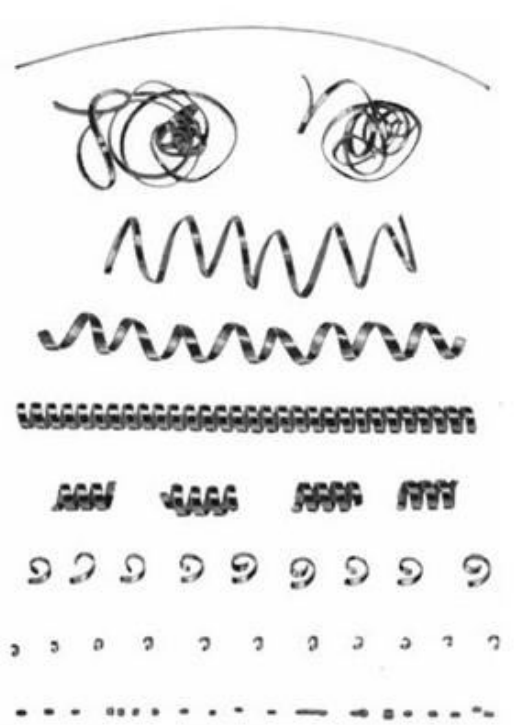
V této práci je zpracována nízkouhlíková ocel i ocel s vyšším obsahem uhlíku. Při obrábění nízkouhlíkových ocelí ($< 0,3 \%$) je třeba věnovat zvláštní pozornost problémům s dělením třísek a sklonům k ulpívání materiálu na břitu – tvoří se nárůstek. Hlavní strukturní součást u nízkouhlíkových ocelí tvoří ferit. Ten je měkký a houževnatý. Tyto vlastnosti zvyšují tvárnost, která zhoršuje obrobiteľnosť. Snížit tendence k ulpívání materiálu na břitu pomáhají vysoké řezné rychlosti, ostré břity a geometrie s pozitivním úhlem čela a třídy s tenkým povlakem. Pro zlepšení dělení třísky je doporučeno, aby hloubka řezu byla blízká nebo byla větší, než je poloměr špičky nástroje [6].

U ocelí s vyšším obsahem uhlíku se pro lepší obrobiteľnosť před obráběním doporučuje tepelné zpracování – žíhání. U ocelí s obsahem uhlíku nad $0,3 \%$ se předepisuje normalizační žíhání. To vyrovnává strukturní nestejnorodosti, zjemňuje austenitické zrno a zlepšuje obrobiteľnosť. Teplota normalizačního žíhání se volí u podeutektoidních ocelí $30 - 80^\circ\text{C}$ nad A_{c3} , respektive $30 - 80^\circ\text{C}$ nad A_{cm} u nadeutektoidních ocelí. Obrobiteľnosť se zlepšuje také žíháním na měkko. To zejména u ocelí nadeutektoidních. Teplota je volena okolo křivky A_{c1} . K lepší obrobiteľnosti dochází v důsledku přeměny lamelárního perlitu na globulární [6].

Obecně lze říci, že u zušlechtěných ocelí se obrobiteľnosť zhoršuje. Materiál je tvrdý a křehký. Projevuje se u nich sklon k relativně značnému opotřebení hřbetu břitu.

2.2.2 Tříska

Materiál je odebírán ve formě třísek. Třísky mají určité vlastnosti z hlediska tvaru a rozměrů. Ty závisí zejména na vlastnostech obráběného materiálu, geometrii nástroje a řezných podmínkách obrábění. Tvar třísky v závislosti na těchto vlastnostech může být stužkový – dlouhé třísky, dlouze i krátce vinutý nebo drobný elementární. U uhlíkatých ocelí vzniká soudržná vinutá tříska. Elementární tříska vzniká například při obrábění bronzu. Tvar třísek má vliv na bezpečnost, přesnost a plynulost pracovního procesu. Dlouhé třísky ohrožují bezpečnost v případě namotávání se na nástroj. Při namotání třísek na nástroj může dojít k poškození nástroje a k snížení jakosti povrchu. Dlouhé třísky zabírají větší objem v pracovním prostoru stroje. Proto je požadovaná krátká tříska, zaujímající co nejmenší objem. K vhodnému utváření třísky je možné využít například tzv. utvářeče třísek. Jsou to žlábkové či stupínkové na čele nožů [6].



Obrázek 2-1 - Druhy třísek (plynulá, dělená, elementární) [7].

K vytvoření třísky a jejímu odvedení z místa řezu je nutná určitá mechanická energie. Při tomto procesu dochází ke tření mezi obrobkem a nástrojem. V důsledku toho se většina mechanické energie přemění na teplo. Tato mechanická energie je potřebná pro překonání odporu materiálu. Odpor materiálu je se značí k_c , síla potřebná pro překonání tohoto odporu se nazývá řezná síla - F_c . Tato síla je důležitá pro návrh vhodného obráběcího stroje, nástroje a řezných podmínek [6].

Měrný řezný odpor [6]:

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \quad (2.1)$$

Kde:

k_c - měrný řezný odpor [MPa]

F_c – řezná síla [N]

A_D – průřez třísky [mm²]

Řezný výkon [6]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^7} \quad (2.2)$$

P_c – řezný výkon [kW]

F_c – řezná síla [N]

v_c – řezná rychlost [m.min⁻¹]

2.2.3 Řezné podmínky

Při obrábění jsou nejdůležitějšími faktory přesnost a kvalita obrobeného povrchu, proto je důležitý výběr nástroje a správné určení jeho řezných podmínek. Vždy je potřeba dbát nejen na správný výběr nástroje, ale i na pevné a spolehlivé upnutí nástroje a obrobku. Při špatném upnutí se snižuje kvalita obrobeného povrchu.

Tři základní parametry při obrábění na obráběcích centrech jsou posuv za minutu, šířka záběru a otáčky. Šířka záběru je ovlivněna faktory jako druh materiálu, tuhostí soustavy stroj – nástroj – obrobek a také, zda se hrubuje nebo obrábí na čisto. Důležitým faktorem je samozřejmě materiál nástroje. Ty jsou nejčastěji z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů. Nástroje ze slinutých karbidů jsou schopné pracovat při několikanásobně vyšších řezných rychlostech. U posuvu a otáček výrobci nástrojů doporučují určité hodnoty podle druhu operace a obráběného materiálu. Výrobce ovšem u nástrojů udává posuv na zub a řeznou rychlost, a to zejména u výměnných břitových destiček. K přepočtu těchto parametrů slouží následující dva vztahy [7].

Posuv za minutu [6]:

$$v_f = n \cdot f_{ot} = n \cdot f_z \cdot z \quad (2.3)$$

kde:

v_f – posuv za minutu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

f_{ot} – posuv na otáčku [mm]

f_z – posuv na zub [mm]

n – otáčky za minutu [min^{-1}]

z – počet zubů frézy

Řezná rychlost [6]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.4)$$

kde:

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

D – průměr frézy [mm]

n – otáčky za minutu [min^{-1}]

2.2.4 Dotyková sonda RENISHAW

Stroje jsou vybaveny dotykovými sondami Renishaw. Ty umožňují měření nástrojů, ustavování nulových bodů obrobku, ustavování přípravků nebo kontrolu rozměrů obrobku. Použití sond šetří čas, eliminuje prostoje stroje a zmetkovitost související s ručním nastavováním a kontrolou. Sondy jsou rozděleny do dvou kategorií. První kategorií jsou sondy spínací dotekové sloužící k odměřování obrobků. Sonda je instalována přímo ve vřetenu stroje, upnuta jako ostatní nástroje. Mechanismus sondy spíná při kontaktu sondy s měřeným dílcem. Při sepnutí sonda vyšle signál řídicímu systému stroje a ten zaznamená polohu v jednotlivých osách obráběcího stroje. Tímto způsobem se dají měřit nejenom body, ale také plochy, drážky a průměry [8].



Obrázek 2-2 - Schéma dotekové sondy [8].

Druhou kategorií jsou sondy nástrojové. Ty jsou většinou umístěny na pracovním stole. Jsou používány k měření a automatickému nastavení parametrů nástroje. Tyto sondy jsou dotekové nebo bezdotekové. Dotekové pracují na podobném principu jako předchozí kontaktní měřicí sondy. Bezdotekové využívají laserová paprsek. Přerušení paprsku průchodem nástroje generuje spínací signál [8].



Obrázek 2-3 - Nástrojová sonda Renishaw.

Dělení dotkových sond nadále určuje přenos signálu mezi sondou a řídicím systémem stroje. Obecně sondy Renishaw využívají přenášení signálu kabelem, opticky nebo rádiově. Nejčastěji jsou použity poslední dva přenosy. Přenos signálu kabelem je z praktických důvodů vhodný převážně u nástrojové sondy [8].

2.2.5 Řezná kapalina

Řezná kapalina odvádí z místa řezu teplo a snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem. To umožňuje pracovat ve větší řezné rychlosti a prodlužuje trvanlivost nástroje. Aby se dosáhlo co nejvyšší trvanlivosti bříty a aby teplota na bříty nezpůsobovala předčasné otupení, používáme chlazení a tím prodlužujeme životnost bříty. Kladný vliv má řezná kapalina také na jakost povrchu obrobené plochy. Důležitou funkci plní řezná kapalina v odvádění třísek z místa řezu [6].

Úkolem řezné kapaliny je:

- odvádět teplo z místa řezu
- snižovat tření mezi nástrojem a obrobkem
- snížit intenzitu otupování - prodloužit životnost nástroje
- zlepšit jakost obrobené plochy
- odvádět třísky z místa řezu
- chránit obrobek před korozí

Mazací účinek se projevuje snížením tření na činných plochách nástroje, usnadňuje plastické deformace třísky. Snižuje se řezný odpor a zlepšuje se jakost obrobené plochy. Chladicí účinek je charakterizován schopností odvádět teplo z místa řezání. Chladicí i mazací účinek snižuje otěr nástroje. Rychlost proudění řezné kapaliny výrazně ovlivňuje její chladicí účinek. Antikorozním účinkem řezných kapalin se zabráni korozi obrobku. Kapalina nesmí být agresivní nejenom vůči obrobku, avšak také vůči přípravkům a dalším částem obráběcího stroje [6].

Řezné kapaliny vhodné pro obrábění nízkouhlíkové oceli jsou emulze nebo syntetické kapaliny. K výrobě daných součástí je jako řezná kapalina zvolena emulze. Emulze je směs vody a jemně rozptýlených olejů a tuků. Pro dobré promísení oleje s vodou se přidávají emulgátory. Voda plní převážně chladicí funkci, mazací schopnosti vody jsou nízké. Výborné mazací schopnosti mají naopak oleje. Trvanlivost emulzí je oproti minerálním olejům menší, protože emulgátory jsou napadnutelné bakteriemi a ztrácí se. Z toho důvodu by mělo docházet k pravidelné kontrole a měření poměru látek v řezné kapalině. Měření se provádí refraktometrem. U tohoto typu výroby, nízkouhlíkové oceli, je doporučena koncentrace 5–6 % oleje v řezné kapalině. Kapalina má bílou barvu a je neprůhledná [6].

3 STROJE A NÁSTROJE

Rodinná strojírenská firma, kde je součástí vyráběna, má v oblasti kovovýroby tradici tří desetiletí. Firma je podle charakteru výrobního zaměření rozčleněna na tři provozy. První provoz je zaměřen na zámečnickou výrobu. To jsou různé pracovní stoly, regály nebo zábradlí svařované v ochranné atmosféře, svařované plamenem nebo elektrickým obloukem. Druhý provoz je zaměřen na obrábění a svařování nerezových materiálů a barevných kovů. Třetí provoz se orientuje na oblast výroby speciálních zařízení, náradí, forem, přípravků a částí strojů, například i právě zdvihací zařízení pro chladíče. V tomto provozu je využito technologie tváření, obrábění i svařování.

Výrobní postupy pro zdvihací zařízení jsou navrženy primárně pro CNC stroje, avšak také pro konvenční stroje. Volba dvou výrobních postupů poslouží k porovnání výhodnosti jednotlivých postupů u kusové i sériové výroby. Příprava materiálu je provedena na pásové pile a řezána laserem. Třískové obrábění je realizováno na konvenčním soustruhu a frézce nebo na CNC soustružnickém stroji KOVOSVIT MAS SP 280 a vertikálním obráběcím centru KOVOSVIT MAS MCV 1016 QUICK. Technologie a výrobní postup jsou popsány v následujících kapitolách.

3.1 Stroje

U obou postupů je ponechán stejný postup přípravy materiálu. Řezání pilou u tří součástí a pálení laserem u osmi. To zejména z důvodu, že firma vlastní výkonný vláknový laser. Laser má oproti starším metodám dělení kovových materiálů několik zásadních výhod jako jsou přesnost, rychlost a ekonomičnost.

3.1.1 Příprava polotovarů

Pásová pila – BOMAR Ergonomic 320.250 DGH

Tato poloautomatická pásová pila je použita pro nařezání polotovarů pro dílce 4 a 11. Hlavní části jsou stojan, pracovní stůl, hnací motor a pilový pás. Předností pily je tuhé litinové rameno odolávající vibracím, přesné karbidové vedení pásu a svěrák s hydraulickým upínáním. Stroj automaticky reguluje přítlak řezu. Pilový pás Wikus Ecoflex je vyráběn s důrazem na tlumení vibrací a se špičkami zubů z rychlořezné oceli HSS-M 42, která má díky vysokému obsahu legujících prvků vysokou odolnost.

Tabulka 3-1 - Parametry pásové pily Bomar Ergonomic.

Rozměr	1255 x 1562 x 1286 mm
Hmotnost	372 kg
Výkon motoru	1,1 kW
Celkový příkon	3,35 kW
Rychlost pilového pásu	40-80 m.min ⁻¹
Rozměr pilového pásu	2910 x 27 x 0,9 mm
Nejmenší řezaný průměr	5 mm
Největší řezná výška	760 mm

Vláknový laser HSG – HS-G4020C

Firma vlastní vláknový laser od HSG Laser na řezání ocelových i nerezových plechů a plechů z barevných kovů s uzavřeným pracovním stolem a pracovní plochou 3000 x 1500 mm. Laser je osazen zdrojem IPG Photonics s výkonem 3000 W. Převod hnací síly je řešen ozubeným hřebenem s pastorkem.

Jako aktivní prostředí zde slouží optické vlákno dopované ionty ytterbia, rezonátor je vytvořen pomocí Braggových mřížek, které fungují na principu rozdílného odrazu. Zároveň díky vedení laserového paprsku optickým vláknem nejsou zapotřebí další pohyblivé vnitřní části ani složitá vnitřní optika, která je náročná na seřizování. Z toho plynou nízké provozní náklady a vysoká životnost. Vláknové lasery mají ve srovnání s CO₂ lasery vyšší hustotu energie laserového paprsku a až trojnásobnou účinnost (až 30 %) [9].



Obrázek 3-1 - Vláknový laser.

Tabulka 3-2 - Parametry vláknového laseru HSG.

Rozměr	6100 x 3350 x 2000 mm
Hmotnost	8000 kg
Výkon zdroje	3 kW
Příkon včetně chladiče	17,8 kW
Vlnová délka	1065 nm
Maximální rychlost pohybu	90 m.min ⁻¹
Rozměr pracovní plochy	3000 x 1500 mm
Poziční přesnost	0,05 mm

Měnič palet

Na stroji je provedeno několik úprav, například je opatřen měničem palet. Zařízení na výměnu palet umožňuje provádět nakládání a vykládání palety paralelně se zpracováním desky s obrobky, která se nachází v základním stroji. Výměna palet se provádí v řádech desítek sekund a výrazně zvyšuje produktivitu.

3.1.2 Konvenční stroje

Pro obrábění na konvenčních strojích je zvolen hrotový soustruh SUI 40/1500 od firmy TOS Trenčín a vertikální frézka FA 3 AV.

Soustruh hrotový SUI 40/1500

Tabulka 3-3 - Parametry soustruhu SUI 40/1500.

Rozměr	3080 x 1280 x 1450 mm
Hmotnost	2760 kg
Výkon motoru	16 kW
Rozsah otáček vřetene	0-2240 min ⁻¹
Délka soustružení	1500 mm
Oběžný průměr nad ložem	400 mm
Oběžný průměr nad suportem	220 mm
Rozsah podélných posuvů	0,023–4,8 mm
Rozsah příčných posuvů	0,011–2,4 mm



Obrázek 3-3 - Frézka FA 3 AV.



Obrázek 3-2 - Soustruh SUI 40/1500.

Frézka vertikální FA 3 AV

Tabulka 3-4 - Parametry frézky FA 3 AV.

Rozměr	1600 x 1230 x 2050 mm
Hmotnost	1960 kg
Výkon motoru	4 kW
Rozsah otáček vřetene	0-2240 min ⁻¹
Rozměr stolu	1250 x 250 mm
Podélný pohyb	800 mm
Příčný pohyb	275 mm
Svislý pohyb	400 mm

3.1.3 CNC stroje

Ohraňovací lis SAFAN

Ohýbání plechů probíhá na ohraňovacím lisu od společnosti SAFAN. Konkrétní typ stroje vlastněný firmou je SAFAN E-Brake Premium 100 s lisovací silou 1000 kN a lisovací šířkou 3060 mm. Stroj je vybaven servoelektrickým pohonem. Přenos lisovací síly spočívá v mechanismu s plochými řemeny a sadou otáčejících se kladek na valivých ložiscích. Servoelektrický pohon umožňuje vyšší zrychlení a zpomalení beranu. Díky tomu dochází ke zmenšení cyklických časů a zvýšení produktivity. Oproti hydraulickým lisům se časy zkracují až o 30 %.



Obrázek 3-4 - Ohraňovací lis SAFAN.

Tabulka 3-5 - Parametry ohraňovacího lisu SAFAN E-Brake Premium 100.

Rozměr	4350 x 1820 x 2650 mm
Hmotnost	7500 kg
Výkon motoru	11 kW
Lisovací síla	1000 kN
Lisovací délka	3060 mm
Max. otevření mezi upínáními	615 mm
Hloubka zadního dorazu	1000 mm
Rychlost beranu	75 mm.s ⁻¹

AutoPOL

Ohraňovací lis je vybaven softwarem AutoPOL. Ten usnadňuje a zjednodušuje programování stroje. Umožňuje import modelů z 3D aplikací jako SolidWorks nebo Autodesk Inventor a jejich následný rozvin do 2D tvaru. V programu lze provést 3D simulaci ohýbání se statickou i dynamickou kontrolou. Simulace odhalí možné kolize a odhadne čas potřebný pro danou operaci. Program vypočítá správný rozvin, aby měl po ohnutí výrobek přesné rozměry.

Soustružnické obráběcí centrum KOVOSVIT MAS SP 280

Tento stroj s vysokým obráběcím výkonem má vysokou tuhost plynoucí z robustního základu a lože. Výkonnou rotační osu C poskytují vestavěné synchronní motory, které umožňují rovněž vysokou dynamiku funkcí vřetene. Suporty, vřeteník a koník pojíždí po valivém vedení. To dodává stroji vysokou přesnost při polohování. Nástrojová hlava má 12 poloh pro nástroje. Firma KOVOSVIT MAS nabízí stroj s možností volby z trojice řídicích systémů – SIEMENS, HEIDENHEIN nebo FANUC. Stroj, na kterém je tato součást vyráběna, je vybaven řídicím systémem HEIDENHEIN.



Obrázek 3-5 - Soustružnické obráběcí centrum KOVOSVIT MAS SP 280.

Tabulka 3-6 - Parametry soustružnického obráběcího centra KOVOSVIT MAS SP 280.

Rozměr	3875 x 2122 x 2345 mm
Hmotnost	7200 kg
Výkon motoru	22 kW
Rozsah otáček vřetene	0-5000 ot.min ⁻¹
Délka soustružení	550 mm
Oběžný průměr nad ložem	570 mm
Maximální průměr soustružení	280 mm

Vertikální obráběcí centrum KOVOSVIT MAS MCV 1016 QUICK

Výkonné obráběcí centrum s vysokou tuhostí a s vysokou pracovní přesností, která je zajištěna pomocí valivých vedení všech tří os. Jednou z předností stroje je možnost použití výkonných nástrojů s vysokotlakým středovým chlazením. Stroj má velký pracovní rozsah při minimálním zástavbovém prostoru, pracovní prostor je vodotěsně zakrytován. Zásobník nástrojů má 24 míst. U tohoto obráběcího centra firma KOVOSVIT MAS nabízí dva řídicí systémy – HEIDENHEIN a SINUMERIK. Součást je vyráběna na stroji s řídicím systémem HEIDENHEIN iTNC530 HSCI.



Obrázek 3-6 - Vertikální obráběcí centrum KOVOSVIT MAS MCV 1016 QUICK.

Tabulka 3-7 - Parametry vertikálního obráběcího centra KOVOSVIT MAS MCV 1016 QUICK.

Rozměr	2700 x 3080 x 2940 mm
Hmotnost	5500 kg
Výkon motoru	17 kW
Rozsah otáček vřetene	0–10000 ot.min ⁻¹
Upínací plocha stolu	1300 x 600 mm
Maximální zatížení stolu	700 kg
Pracovní rozsah os X, Y, Z	1016 x 610 x 710 mm
Pracovní posuv	1–30000 mm.min ⁻¹

Heidenhein

Řídicí systém je používán v několika verzích již od konce 70. let. Velkou výhodou tohoto systému je zaměření na dílenské programování, kdy obsluha stroje zvládne velkou část výroby naprogramovat přímo na stroji. Heidenhein je uzpůsoben rychlému nastavení stroje přímo přes ovládací panel. Toto rychlé nastavení usnadňuje obsáhlý výběr přednastavených cyklů pro konkrétní pracovní operace. Tímto odpadá nutnost znalosti velkého množství G – funkcí. Systém je možno využít nejen pro tříosé, ale i pro víceosé stroje – až 12 os. Zadávat souřadnice v systému lze pomocí absolutních, inkrementálních nebo polárních souřadnic. Umožňuje simulovat obráběcí proces s výpočtem obráběcího času a s případným oznámením chybového hlášení.

3.2 Nástroje

3.2.1 Nástroje pro vertikální obráběcí centrum

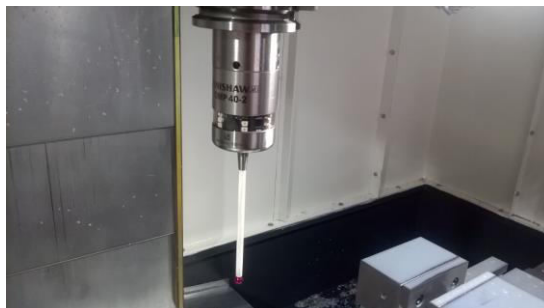
Firma v oblasti nástrojů spolupracuje se společností Sandvik Coromant. Na obráběcích centrech jsou používány převážně nástroje s výměnnými břitovými destičkami. Tyto destičky jsou ze slinutých karbidů. Vynikají kombinací houževnatosti a odolností proti opotřebení. Slinuté karbidy jsou vyráběny práškovou metalurgií. Většinou složkou obsaženou ve slinutých karbidech jsou karbidy wolframu a pojivo kobalt. Pro zlepšení vlastností jsou přidávány další karbidy, jako například karbid tantalu nebo karbid titanu. Jejich vlastnosti jsou zlepšovány také povlaky. Povlaky se nanášejí chemicky při teplotách 700 – 1000°C. Mají velkou přilnavost k povrchu a vysokou odolnost proti otěru. Destičky od společnosti Sandvik Coromant mají nanesen povlak s několika různými vrstvami. Je to kombinace karbonitridu titanu, nitridu titanu a oxidu hlinitého – CVD $Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN$, který zlepšuje odolnost proti opotřebení.

Tabulka 3-8 - Nástrojový list pro vertikální obráběcí centrum.

Číslo	Typ	Název
T0	Dotyková sonda	Renishaw
T1	Čelní fréza s VBD Ø 50	CoroMill® 490
T2	Čelní válcová fréza s VBD Ø 20	CoroMill® 390
T3	Stopková fréza Ø 20	CoroMill® Plura
T4	Stopková fréza Ø 4	CoroMill® Plura
T5	Stopková fréza Ø 5	CoroMill® Plura
T6	Vrták Ø 4	CoroDrill® 460
T7	Vrták Ø 24	HSS
T8	Tvarová fréza Ø 10	CoroMill® 316

T0 – Dotyková sonda Renishaw OMP 40-2

Sonda s optickým přenosem signálu je využívána pro určování nulových bodů obrobku. Slouží také pro kontrolu přesného upnutí svěráku a kontrolu konečných rozměrů obrobku.



Obrázek 3-7 - Dotyková sonda RENISHAW OMP 40-2.

T1 – Čelní fréza CoroMill® 490 pro frézování ploch

Vysoce výkonná čelní fréza se čtyřmi výměnnými břitovými destičkami s poloměrem rohu 0,8 mm. Nástroj má průměr 50 mm. Tento nástroj slouží pro obrábění čelních ploch vedení u součásti 4.

Tabulka 3-9 - Parametry nástroje T1.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_z = 0,2 - 0,35 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 - 265 \text{ m.min}^{-1}$$

$$a_{p\max} = 10,3 \text{ mm}$$

ISO VBD:

490R-140408M-PH 1130



T2 – Čelní válcová fréza CoroMill® 390 pro frézování do rohu

Univerzální fréza pro frézování do rohu se dvěma výměnnými břitovými destičkami o poloměru rohu 0,8 mm. Fréza má průměr 20 mm a velkou funkční délku 160 mm. Tento nástroj slouží k obrábění ploch součásti 4.

Tabulka 3-10 - Parametry nástroje T2.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_z = 0,02 - 0,07 \text{ mm}$$

$$v_c = 285 - 290 \text{ m.min}^{-1}$$

$$a_{p\max} = 5,8 \text{ mm}$$

ISO VBD:

390R-070208E-PL 1130



T3 – Stopková fréza CoroMill® Plura

Čtyřhranná stopková karbidová fréza o průměru 20 mm a maximální funkční délkou 125 mm. Touto frézou jsou dokončovány plochy na součásti 4.

Tabulka 3-11 - Parametry nástroje T3.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_z = 0,13 - 0,16 \text{ mm}$$

$$v_c = 200 \text{ m.min}^{-1}$$

$$a_{p\max} = 75 \text{ mm}$$

ISO:

1P370-2000-XA 1620



T4 – Stopková fréza CoroMill® Plura

Čtyřhranná stopková karbidová fréza o průměru 4 mm. Touto frézou budou obráběny drážky na součásti 11.

Tabulka 3-12 - Parametry nástroje T4.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_{p\max} = 11 \text{ mm}$$

ISO:

1P341-0400-XA 1620

**T5 – Stopková fréza CoroMill® Plura**

Čtyřhranná stopková karbidová fréza o průměru 5 mm. Touto frézou budou obráběny drážky na součásti 11.

Tabulka 3-13 - Parametry nástroje T5.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$v_c = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_{p\max} = 13 \text{ mm}$$

ISO:

1P341-0500-XA 1620

**T6 – Vrták CoroDrill® 460**

Monolitní karbidový vrták o průměru 4 mm s funkční délkou 20 mm. Tímto vrtákem jsou vrtány díry pro kolík v součásti 4.

Tabulka 3-14 - Parametry nástroje T6.

Doporučené řezné podmínky:

$$f = 110 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_c = 25 - 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = 2000 - 2400 \text{ min}^{-1}$$

ISO:

460.1-0400-030A1-XM GC34



T7 – Vrták HSS

Vrták z rychlořezné oceli se zúženou stopkou o průměru 24 mm s funkční délkou 160 mm. Tímto vrtákem jsou vrtány díry pro vedení čepu v součásti 4.

Tabulka 3-15 - Parametry nástroje T7.

Doporučené řezné podmínky:

$$f = 85 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_c = 25 - 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = 400 - 450 \text{ min}^{-1}$$

DIN: 338

**T8 – Tvarová fréza CoroMill® 316**

Monolitní karbidová hlavice pro frézování zkosených hran o průměru 12 mm.

Tabulka 3-16 - Parametry nástroje T8.

Doporučené řezné podmínky:

$$f = 0,08 \text{ mm}$$

$$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_{p\max} = 4,23 \text{ mm}$$

ISO:

A316-12CM600-05060G 1030



3.2.2 Nástroje pro soustružnické obráběcí centrum

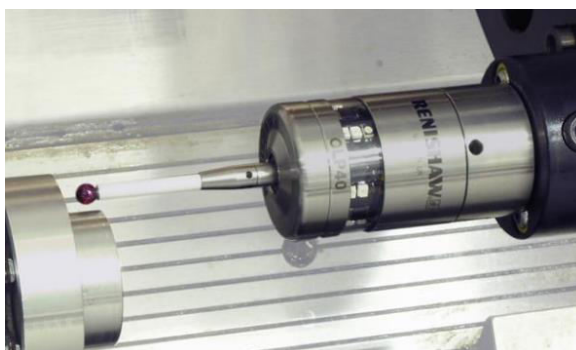
Volba nástroje závisí především na typu operace, materiálu a na tvaru obráběné součásti. Pro obrábění vnějších ploch u velkých a stabilních součástí jsou používány nástroje třídy CoroTurn RC. U malých a štíhlejších součástí se vhodnější použití nástrojů třídy CoroTurn 107. Pro pevnost břitové destičky je důležité volit co největší úhel špičky břitu. Podle parametrů obrobku se určuje také geometrie břitu. Negativní geometrie zaručuje větší pevnost, avšak jsou nutné větší řezné síly a dochází k horšímu odvodu třísek. Pozitivní geometrie lépe odvádí třísky a poskytuje menší řezné síly. Má ovšem menší pevnost.

Tabulka 3-17 - Nástrojový list pro soustružnické obráběcí centrum.

Číslo	Typ	Název
T10	Dotyková sonda	Renishaw
T11	Vnější hrubovací nůž s VBD	CoroTurn® 107
T12	Vnitřní hrubovací nůž s VBD	CoroTurn® 107
T13	Stranový hladící nůž s VBD	CoroTurn® 107
T14	Vrták Ø 30	HSS
T15	Vrták Ø 17,5	HSS
T16	Vrták Ø 14	HSS
T17	Vroubkovací kolečka	
T18	Upichovací nůž	CoroCut® QD

T10 – Dotyková sonda Renishaw OLP 40

Sonda s optickým přenosem signálu je využívána pro určování nulových bodů obrobku. Slouží také pro kontrolu konečných rozměrů obrobku.



Obrázek 3-8 - Dotyková sonda RENISHAW OLP 40.

T11 – Vnější hrubovací nůž CoroTurn® 107

Stranový ubírací nůž s výměnnými břitovými destičkami. Nástroj vhodný pro delší a štíhlejší součásti, pro střední a dokončovací soustružení méně stabilních upnutí. Tímto nástrojem jsou obráběny plochy u součásti 11. Tento nástroj je zvolen z důvodu velkého vysunutí součásti při obrábění vnějších ploch. Poměr průměru a délky vysunutí je 3,3. To hraje roli i při určení řezných podmínek.

Tabulka 3-18 - Parametry nástroje T11.

Doporučené řezné podmínky:

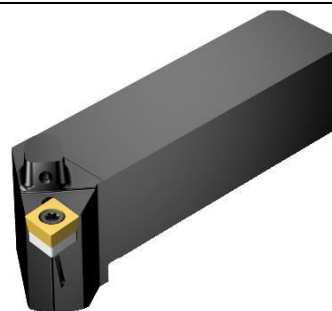
$$f_n = 0,1 - 0,3 \text{ mm}$$

$$v_c = 215 - 310 \text{ m.min}^{-1}$$

$$a_p = 0,6 - 3,2 \text{ mm}$$

ISO VBD:

CCMT 09 T3 08-PM 4335



T12 – Vnitřní hrubovací nůž CoroTurn® 107

Vnitřní ubírací nůž s výměnnými břitovými destičkami. Nástroj vhodný pro delší a štíhlejší součásti. Nástrojem jsou soustruženy vnitřní plochy u součásti 11.

Tabulka 3-19 - Parametry nástroje T12.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_n = 0,15 - 0,5 \text{ mm}$$

$$v_c = 175 - 275 \text{ m.min}^{-1}$$

$$a_p = 0,7 - 4 \text{ mm}$$

ISO VBD:

CCMT 09 T3 08-WM 4335



T13 – Stranový hladicí nůž CoroTurn® 107

Stranový ubírací nůž s výměnnými břitovými destičkami s hladícím destičkami pro dokončovací operace. Destičky mají menší poloměr břitu $r_\epsilon = 0,4 \text{ mm}$.

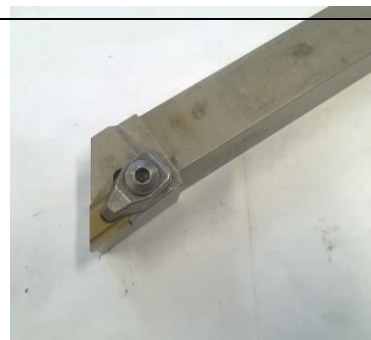
Tabulka 3-20 - Parametry nástroje T13.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_n = 0,08 - 0,23 \text{ mm}$$
$$v_c = 235 - 330 \text{ m.min}^{-1}$$
$$a_p = 0,3 - 3,2 \text{ mm}$$

ISO VBD:

CCMT 09 T3 04-PM 4335

**T14 – Vrták HSS**

Vrták z rychlořezné oceli o průměru 30 mm. Tímto vrtákem jsou vrtány díry v součásti 11.

Tabulka 3-21 - Parametry nástroje T14.

Doporučené řezné podmínky:

$$f = 56 \text{ mm.min}^{-1}$$
$$v_c = 20 - 25 \text{ m.min}^{-1}$$
$$n = 200 - 250 \text{ min}^{-1}$$

DIN:338

**T15 – Vrták HSS**

Vrták z rychlořezné oceli o průměru 17,5 mm. Tímto vrtákem jsou vrtány díry v součásti 11.

Tabulka 3-22 - Parametry nástroje T15.

Doporučené řezné podmínky:

$$f = 80 \text{ mm.min}^{-1}$$
$$v_c = 20 - 25 \text{ m.min}^{-1}$$
$$n = 400 - 450 \text{ min}^{-1}$$

DIN:338



T16 – Vrták HSS

Vrták z rychlořezné oceli o průměru 14 mm. Tímto vrtákem jsou vrtány díry v součásti 11.

Tabulka 3-23 - Parametry nástroje T16.

Doporučené řezné podmínky:

$$f = 95 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_c = 20 - 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = 460 - 540 \text{ min}^{-1}$$

DIN:338

**T17 – Vroubkovací nástroj**

Nástroj pro tvorbu vroubkování na čepu. Nástroj má dvě vroubkovací kolečka uložena ve výkyvné části držáku. Kolečka mají stejnou rozteč břitů. Břity jsou kosoúhlé. Rozteč vroubkování je 1,2 mm.

Tabulka 3-24 - Parametry nástroje T17.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_z = 0,08 - 0,23 \text{ mm}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}.$$

**T18 – Upichovací nůž CoroCut® QD**

Upichovací nůž na dělení materiálu.

Tabulka 3-25 - Parametry nástroje T18.

Doporučené řezné podmínky:

$$f_n = 0,05 - 0,15 \text{ mm}$$

$$v_c = 130 - 185 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 1,5 \text{ mm}$$

ISO VBD:

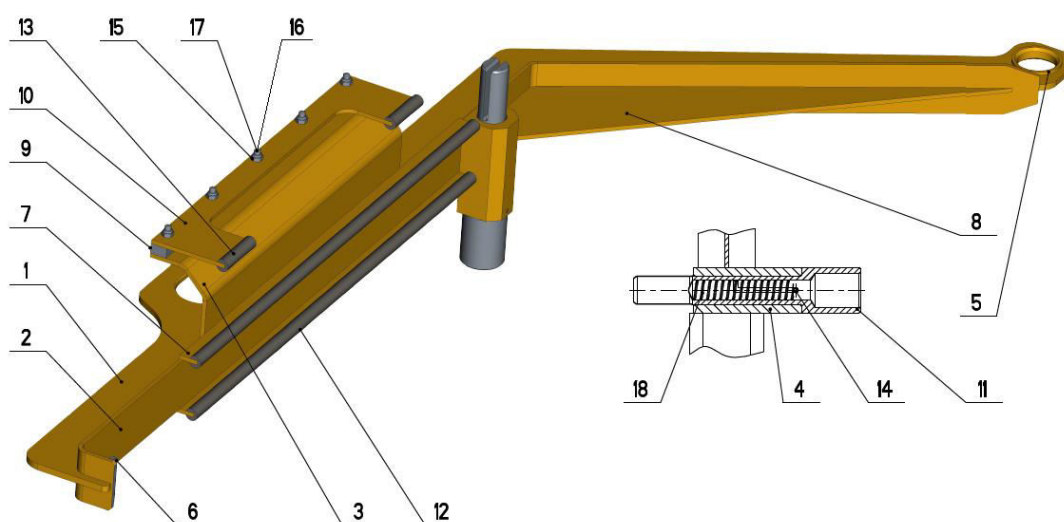
QD-ND-0150-0001-CM 1145



4 NÁVRH MATERIÁLU A VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

4.1 Popis jednotlivých součástí

Zdvihací zařízení se skládá z 11 vyráběných součástí, které jsou svařeny. Dále ze zakoupených šroubů, matic, podložek a pružiny. Funkční hrany jsou chráněny pryžovými pásky. Většina součástí je řezána na laseru. Některé z nich jsou ohýbány na ohraňovacím lisu. Výrobně nejnáročnější je zajišťující čep s vedením. Tyto součásti jsou vyráběny technologií třískového obrábění. Čep konkrétně soustružením, vedení frézováno na obráběcím centru.



Obrázek 4-1 - Sestava - zdvihací zařízení.

Tabulka 4-1 - Popis součástí.

Označení	Název	Zpracování
1	Plech	Laser
2	Plech	Laser, ohraňovací lis
3	Plech	Laser, ohraňovací lis
4	Vedení	Třískové obrábění
5	Kroužek	Třískové obrábění
6	Návarek	Laser
7	Návarek	Laser
8	Žebro	Laser
9	Plech	Laser
10	Plech	Laser
11	Čep	Třískové obrábění
12	Pryžový U-profil	Zakoupeno
13	Pryžový U-profil	Zakoupeno
14	Kolík	Zakoupeno
15	Matice	Zakoupeno
16	Podložka	Zakoupeno
17	Šroub	Zakoupeno
18	Tlačná pružina	Zakoupeno

4.2 Volba materiálu

Základní parametry pro volbu materiálu jsou:

- Pevnost
- Svařitelnost
- Obrobitelnost
- Cena

Podle požadavků zákazníka je zvolena ocel ČSN 41 1523 (EN S355). Ocel splňuje základní parametry. Je to nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel vhodná ke svařování i k ohýbání. Hlavní složkou oceli je železo – Fe. Ocel má zaručený obsah fosforu a síry. Maximální hodnoty jednotlivých prvků obsaženy v tomto druhu oceli jsou uvedeny v tabulce. Zbylou část tvoří právě Fe.

Tabulka 4-2 - Maximální hodnoty jednotlivých prvků oceli 11 523 [%] [10].

C	Mn	Si	P	S	N
0,20	1,60	0,55	0,04	0,04	0,009

Ocel má zaručenou také minimální pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Minimální hodnoty těchto veličin jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 4-3 - Mechanické vlastnosti oceli 11 523 [10].

Rozměr d, t [mm]	16-40	80-100	150-200
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	345	315	285
Mez pevnosti R_m [MPa]	490-630	470-630	450-630
Tažnost A_5 [%]	22	20	17
Nárazová práce KV [J]	27		
Modul pružnosti E [GPa]	206		

Polotovary jsou dodávány jako válcované tyče za tepla, válcované plechy za tepla, tyče tažené za studena, výkovky nebo duté profily tvářené za tepla i za studena [10].

4.2.1 Statický rozbor

Zvolený materiál 11 523 má mez kluzu $R_{p0,2} = 355$ MPa. Kritické místo na spodní části součásti je zobrazeno na obrázku. V tomto místě působí největší zatížení. Proto je v tomto místě spočítána velikost ohybového napětí. Ohybová napětí na horní straně povrchu jsou vyvolána ohybovým momentem. Pro výpočet ohybového napětí je nutné nejprve zjistit tento ohybový moment a také kvadratický moment plochy průřezu. Pro výpočet je zvolen návrhový součinitel bezpečnosti 2.

Návrhový součinitel bezpečnosti

$$k = 2$$

Mez kluzu

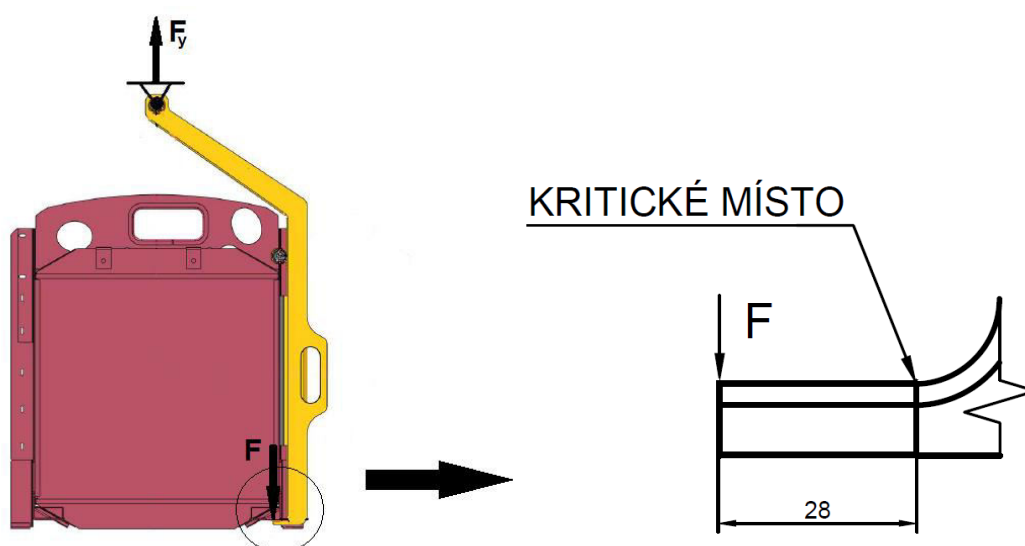
$$R_{p0,2} = 355 \text{ MPa}$$

Výpočet maximálního dovoleného ohybového napětí [11]:

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{dov}} \quad (4.1)$$

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{dov}} \Rightarrow \sigma_{dov} = \frac{R_{p0,2}}{k}$$

$$\sigma_{dov} = \frac{355}{2} = 177,50 \text{ MPa}$$



Obrázek 4-2 - Kritické místo profilu.

Váha břemene je 60 kg, zdvihací zařízení je dimenzováno pro 100 kg.

Zatěžující síla:

$$F = m \cdot g \quad (4.2)$$

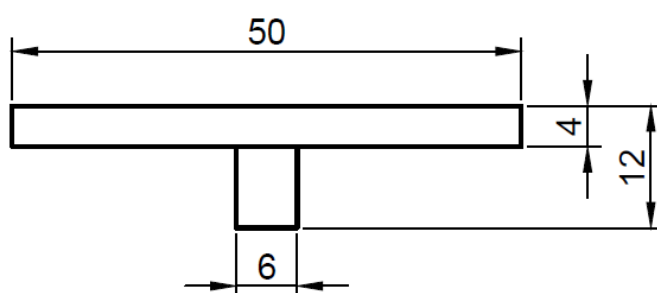
$$F = m \cdot g = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ N}$$

Ohybový moment:

$$M_o = F \cdot l \quad (4.3)$$

$$M_o = F \cdot l = 1000 \cdot 28 = 28000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Výpočet složeného průřezu je proveden tak, že jsou nejprve vypočítány plochy, těžiště a kvadratické momenty jednotlivých obdélníků a poté je využita Steinerova věta k určení celkového kvadratického momentu složené plochy [11].



Obrázek 4-3 - Rozměry profilu.

Výpočet ploch [11]:

$$S_1 = b_1 \cdot h_1 = 4 \cdot 50 = 200 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = b_2 \cdot h_2 = 6 \cdot 8 = 48 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 = 200 + 48 = 248 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště: [11]

$$S \cdot c_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot a_1 + b_2 \cdot h_2 \cdot a_2 \Rightarrow$$

$$c_1 = \frac{b_1 \cdot h_1 \cdot a_1 + b_2 \cdot h_2 \cdot a_2}{S} = \frac{4 \cdot 50 \cdot 2 + 6 \cdot 8 \cdot 8}{248} = 3,16$$

Výpočet kvadratických momentů [11]:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4.4)$$

$$J_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{50 \cdot 4^3}{12} = 266,67 \text{ mm}^4$$

$$J_2 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{6 \cdot 8^3}{12} = 256 \text{ mm}^4$$

Steinerova věta [11]:

$$J_z = J + S \cdot d^2 \quad (4.5)$$

Výpočet kvadratického momentu složené plochy využitím Steinerovy věty [11]:

$$J_z = J_{1z} + J_{2z} = (J_1 + S_1 \cdot d_1^2) + (J_2 + S_2 \cdot d_2^2)$$

$$J_z = (266,67 + 200 \cdot 1,16^2) + (256 + 48 \cdot 4,84^2)$$

$$J_z = 1916 \text{ mm}^4$$

Výpočet skutečného ohybového napětí [11]:

$$\sigma_{skut.} = \frac{M_o \cdot c_1}{J_z} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{skut.} = \frac{M_o \cdot c_1}{J_z} = \frac{28000 \cdot 3,16}{1916} = 46,18 \text{ MPa}$$

Bezpečnost [11]:

$$\sigma_{skut.} < \sigma_{dov}$$

$$46,18 \text{ MPa} < 177,5 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{skut.}} = \frac{355}{46,18} = 7,7$$

Materiál daného průřezu v tomto místě vyhovuje daným bezpečnostním podmínkám. Tento statický rozbor je ověřen v programu ANSYS, který lze mimo jiné použít k simulaci pevnostní analýzy strojních dílců. Tato analýza odhaluje další kritické místo, ve kterém působí větší napětí.



Obrázek 4-4 - Stress von Mises [MPa].

Skutečné napětí:

$$\sigma_{skut.II} = 99,01 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí [11]:

$$\sigma_{dov} = \frac{R_{p0,2}}{k} = \frac{355}{2} = 175,50 \text{ MPa}$$

Bezpečnost [11]:

$$\sigma_{skut.II} < \sigma_{dov}$$

$$99,01 \text{ MPa} < 118,33 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{skut.}} = \frac{355}{99,01} = 3,6$$

Materiál i v tomto místě vyhovuje daným bezpečnostním podmínkám.

4.2.2 Materiál čepu

Součást číslo 11 je nejvíce namáhána, proto zde byl z pevnostních důvodů zvolen jiný materiál. Dalším důvodem pro volbu jiného materiálu je funkce tohoto čepu. Čep je cyklicky vysouván a zasouván. Materiál musí být otěruvzdorný, což znamená zvýšenou odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Otěruvzdornost se odvíjí od množství uhlíku, tepelného zpracování a od množství legujících prvků.

Podle požadavků zákazníka je zvolena nelegovaná ušlechtilá konstrukční ocel ČSN 41 2050 (C45). Ocel splňuje požadavky pro tuto funkci. Tato ocel má zaručeno kompletní chemické složení. Maximální hodnoty jednotlivých prvků jsou uvedeny v tabulce. Zbylou část složení tvoří železo – Fe.

Tabulka 4-4 - Maximální hodnoty jednotlivých prvků oceli 12 050 [%] [12].

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0,50	0,80	0,40	0,03	0,04	0,40	0,40

Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti dosahuje tato ocel v zakaleném a následně popuštěném tvaru, proto je zušlechťena. Při kalení dosahuje materiál na povrchu hodnoty 55 – 60 HRC.

Tabulka 4-5 - Mechanické vlastnosti oceli 12 050 [12].

Rozměr d, t [mm]	<16	16-40	40-100
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	490	430	370
Mez pevnosti R_m [MPa]	800	750	720
Tažnost A_5 [%]	14	16	17
Nárazová práce KV [J]	25		

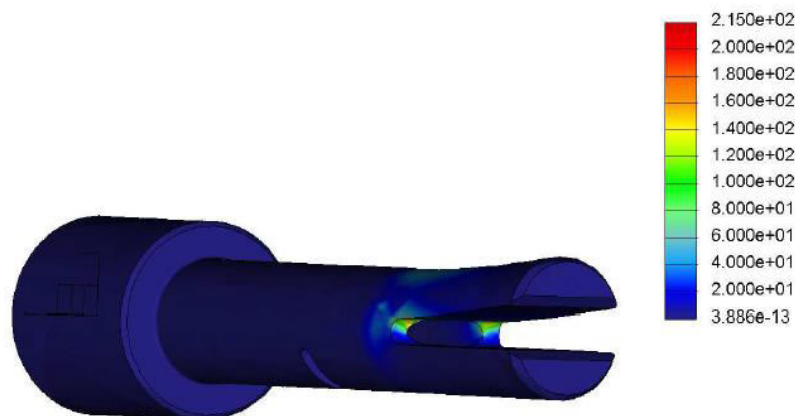
Tabulka 4-6 - Tepelné zpracování oceli 12 050 [12].

Způsob TZ	Chladicí prostředí	Teplota [C°]
Normalizační žíhání	Vzduch	840 - 880
Žíhání na měkko	Pec	650 - 700
Izotermické žíhání	Pec	800 - 920
Kalení	Voda	800 - 840
Kalení	Olej	820 - 860
Popouštění	Vzduch	550 - 650

Ocel ČSN 12 050 je běžně dodává ve stavu válcovaném nebo kovaném v podobě kruhových tyčí, bloků nebo plechů [12].

Statická kontrola čepu

Simulace napětí je provedena také na nejvíce namáhané součásti, zajišťujícím čepu. Při maximálním zatížení nastane největší hodnota napětí v místě poloměru vidlice.



Obrázek 4-5 - Stress von Mises [MPa].

Skutečné napětí:

$$\sigma_{skut.III} = 215 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí [11]:

$$\sigma_{dov.II} = \frac{R_{p0,2}}{k} = \frac{430}{2} = 215 \text{ MPa}$$

Bezpečnost: [11]

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{skut.III}} = \frac{430}{215} = 2$$

Materiál v tomto místě vyhovuje daným bezpečnostním podmínkám.

4.3 Volba polotovarů

Součásti číslo 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 jsou řezány na laseru, polotovarem jsou tabule plechů. Součást číslo 4 je vyrobena z polotovaru čtvercové tyče. Pro součást 5 je polotovarem kruhová tyč. Součást číslo 11 je vyrobena také z polotovaru kruhové tyče. Tyče jsou řezány s přídávky pro obrábění.

Tabulka 4-7 - Parametry součástí.

Číslo	Název	Materiál / Druh	Hmotnost [kg]	Max. rozměr [mm]
1	Plech	S355	3,46	6 x 485 x 1150
2	Plech	S355	2,03	4 x 50 x 1300
3	Plech	S355	1,24	4 x 112 x 350
4	Vedení	S355	0,75	40 x 40 x 95
5	Kroužek	S355	0,06	Ø 45 x 12
6	Návarek	S355	0,02	4 x 8 x 50
7	Návarek	S355	0,29	4 x 18 x 500
8	Žebro	S355	0,63	4 x 331 x 350
9	Plech	S355	0,43	10 x 16 x 350
10	Plech	S355	0,43	4 x 75 x 350
11	Čep	C45	0,58	Ø 40 x 200
12	Profil	Pryž	0,06	500
13	Profil	Pryž	0,01	50
14	Kolík	ISO 2338		4 x 40
15	Matice	DIN 985		M6
16	Podložka	DIN 125		7
17	Šroub	DIN 933		M6 x 30
18	Pružina	ČSN 42 6450		1,25x17,3x130x17,5

4.3.1 Přídavek na obrábění

Pro výrobu součástí z daného polotovaru předepsaných rozměrů a jakosti povrchu je nutné zvolit dostatečný přídavek na obrábění. Polotovar se má co nejvíce přibližovat hotové součásti a spotřeba materiálu má být co nejmenší.

Návrh velikosti přídavku polotovaru [13]:

$$p = \frac{5 \cdot s}{100} + 2 \quad (4.7)$$

p - přídavek pro stranu [mm]

s - rozměr strany [mm]

Návrh konečného rozměru polotovaru [13]:

$$S = s + p \quad (4.8)$$

S - rozměr polotovaru [mm]

s - rozměr součásti [mm]

p - přídavek pro stranu [mm]

Počet kusů vyrobitelný z jedné tyče: [13]

$$x = \frac{L_t}{L_p + p_u} \quad (4.9)$$

x - počet kusů polotovarů

L_t - délka normalizované tyče [mm]

L_p - délka polotovaru [mm]

p - přídavek pro dělení materiálu [mm]

Návrh normalizovaného polotovaru pro součást 4

Přídavek na šířku součásti:

$$p_b = \frac{5 \cdot b}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 40}{100} + 2 = 4 \text{ mm}$$

Přídavek na výšku součásti:

$$p_h = \frac{5 \cdot h}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 40}{100} + 2 = 4 \text{ mm}$$

Přídavek na délku součásti:

$$p_l = \frac{5 \cdot l}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 95}{100} + 2 = 6,75 \text{ mm}$$

Jednotlivé rozměry polotovaru:

$$B = b + p = 40 + 4 = 44 \text{ mm}$$

$$H = h + p = 40 + 4 = 44 \text{ mm}$$

U délky je nutné započítat ještě technologický přídavek pro upnutí polotovaru do svěráku $p_t = 10 \text{ mm}$.

$$L = l + p = 95 + 6,75 + 10 = 111,75 \text{ mm}$$

Šířkový a výškový rozměr je zaokrouhlen na nejbližší tabulkovou hodnotu pro normalizované tyče. Z toho plyne konečný rozměr polotovaru tyče šířky 45 mm a výšky 45 mm. Tyč je řezána na délku **112 mm**.

Pro malosériovou výrobu 100 kusů jsou objednávány tyče délky 3 m. Prořez pásovou pilou Bomar je 0,9 mm.

Počet kusů z jedné tyče:

$$x = \frac{L_t}{L_p + p_u} = \frac{3000}{112 + 0,9} = 26 \text{ ks}$$

L_t - délka normalizované tyče [mm]

L_p - délka polotovaru [mm]

p_u - přídavek na dělení materiálu [mm]

K výrobě 100 kusů součástí číslo 4 jsou zapotřebí 4 normalizované tyče. Zbytek materiálu z poslední tyče je 514 mm.

Návrh normalizovaného polotovaru pro součást 5 a 11

Obdobným způsobem jsou vypočítány polotovary pro součást 5 a 11. Rozdílem je zadání průměrů místo šířky a výšky polotovaru. Není zde technologický přídavek pro upnutí. Přídavek pro dělení materiálu od upichovacího nože je 1,5 mm.

Tabulka 4-8 - Rozměry polotovarů součástí 5 a 11 [mm].

č. s.	D_s	D_p	D_{pn}	L_s	L_p	x [Ks]
5	45	49,25	50	12	14,6	186
11	40	44	45	200	212	14

D_s - průměr součásti [mm]

D_p - průměr polotovaru s přídavkem [mm]

D_{pn} - průměr normalizovaného polotovaru [mm]

L_s - délka součásti [mm]

L_p - délka polotovaru s přídavkem [mm]

x - počet kusů z 3 metrové tyče

Pro součást 5 je zapotřebí 1 normalizovaná tyč průměru 50 mm. Při výrobě 100 ks je zbytek materiálu 1390 mm. Pro součást 11 je potřeba 8 normalizovaných tyčí průměru 45 mm. Zbytek materiálu u poslední tyče je 2573 mm.

Tabulka 4-9 - Rozměry polotovarů součástí 4, 5 a 11.

Číslo součásti	Rozměr polotovaru [mm]	Počet tyčí
4	45 x 45 x 112	4
5	Ø 50 x 14,6	1
11	Ø 45 x 212	8

4.3.2 Rozvinuté délky polotovarů pro ohýbání

Před zahájením řezání polotovarů na laseru je nutné nejprve spočítat rozvinutou délku plechů pro součásti 2 a 3.

Rozvinutá délka [13]:

$$L_p = l_1 + l_0 + l_2 \quad (4.10)$$

Nejprve jsou spočítány poloměry neutrálních os, následně jsou spočítány délky kruhových oblouků. Posledním krokem je sečtení všech délek a určení rozvinuté délky polotovaru.

Poloměr neutrální osy [13]:

$$\rho = R + t \cdot n \quad (4.11)$$

R - poloměr ohybu [mm]

t - tloušťka plechu [mm]

n - součinitel posunutí neutrální vrstvy (pro poměr $R/t = 2$ je součinitel 0,45)

Délka kruhového oblouku [13]:

$$l = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot \rho \quad (4.12)$$

α - úhel ohybu [°]

Návrh polotovaru pro součást 2 a 3

U obou součástí je ohýbán plech tloušťky 4 mm na poloměru 8 mm.

Poloměr neutrální osy:

$$\rho = R + t \cdot n = 8 + 4 \cdot 0,45 = 9,8 \text{ mm}$$

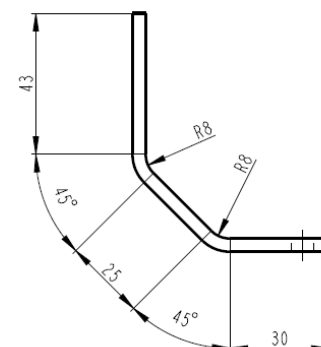
Délka kruhového oblouku pro úhel 45°:

$$l = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot \rho = \frac{45}{180} \cdot \pi \cdot 9,8 = 7,7 \text{ mm}$$

Rozvinutá délka součásti 3:

$$L_p = l_1 + l_0 + l_2 + l_0 + l_3$$

$$L_p = 43 + 7,7 + 25 + 7,7 + 30 = 113,4 \text{ mm}$$



Obrázek 4-6 - Rozměry součásti 3.

Rozvinutá délka součásti 2 vypočítána analogicky:

$$L_p = l_1 + l_0 + l_2 + l_0 + l_3$$

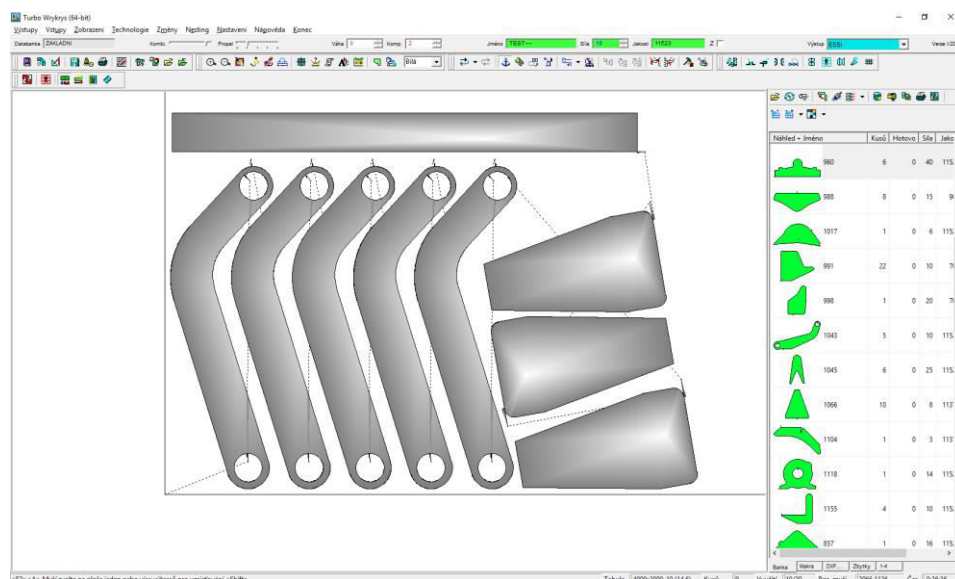
$$L_p = 30 + 15,4 + 808 + 9,4 + 437,2 = 1300 \text{ mm}$$

4.3.3 Řezání součástí na laseru

Součásti 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 jsou řezány na laseru. Nejdůležitější činností technologa je sestavení nástřihového plánu, který musí být sestaven tak, aby bylo co největší využití plechu a tedy i malé procento odpadu.

WRYKRYs

Firma na vlastním pálcím stroji využívá software WRYKRYs. Tento technologický program s jednoduchým ovládáním výrazně urychluje přípravu pálcích plánů. Slouží pro komunikaci s pálcím strojem a k sestavování řezacích plánů. Výkresy je možné importovat z různých CAD aplikací nebo nakreslit přímo v tomto softwaru. Výhodou programu je knihovna historie pálených dílů.



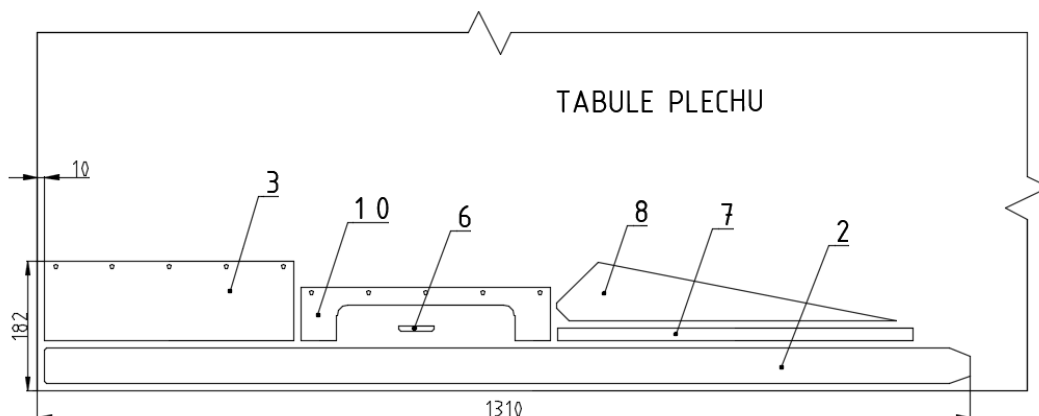
Obrázek 4-7 - Pracovní prostředí softwaru WRYKRYs.

Tabulka 4-10 - Tloušťky plechů pro dané součásti.

Číslo součásti	Materiál	Tloušťka [mm]
2, 3, 6, 7, 8, 10	Ocelový plech 11 523	4
1	Ocelový plech 11 523	6
9	Ocelový plech 11 523	10

Při navrhování pálicích plánu je kromě důrazu na úsporu materiálu a nastavení správných parametrů důležité také správně navrhnout propaly. Propal je místo, ve kterém stroj začíná a končí řez jednotlivé kontury. Každý výkres by měl mít nastavený propal před tím, než dojde k exportu na stroj. Při nezadání propalu hrozí, že stroj začne řezat přes vedlejší náčrt a dojde k výrobě zmetku.

Součásti budou páleny na laseru podle příslušných rozměrů dle výkresů. Níže je uveden návrh rozmístění jednotlivých součástí na tabuli plechu tloušťky 4 mm. Mezi jednotlivými náčrtý je ponechána technologická mezera, aby nedošlo při pálení jedné součásti k ovlivnění sousední součásti.



Obrázek 4-8 - Návrh rozmístění součástí na tabuli plechu před pálením.

Řezné časy pro všechny součásti jsou uvedeny v kapitole 6. Výpalky jsou páleny z tabulí plechu válcovaného za tepla o rozměru 3000 x 1500 mm. Pro vypálení součástí na výrobu 100 ks zdvihacích zařízení jsou potřebné počty tabulí spočítány a uvedeny v následující tabulce. Součásti jsou pro maximální využití plechu při 100 ks rozmístěny odlišně, než je uvedeno na obr. 4-8.

Tabulka 4-11 - Potřebný počet ocelových tabulí.

Materiál	Kusů na tabuli	Počet tabulí	Zbytek [mm]
Tabule plechu (t = 4 mm)	22*	5	1600 x 1500
Tabule plechu (t = 6 mm)	100	1	2350 x 1500
Tabule plechu (t = 10 mm)	20	5	0
*průměrný počet sad na jednu tabuli			

5 NÁVRH VÝROBNÍHO POSTUPU

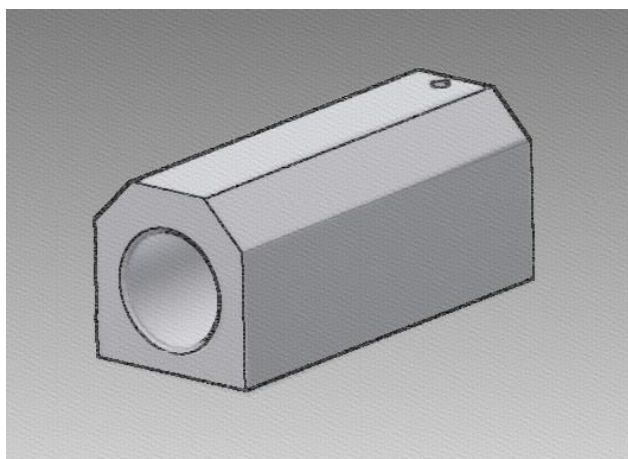
Výrobní postup většiny součástí je zřejmý z předchozí kapitoly. Osm součástí je vypáleno na laseru a dvě z nich následně ohnuty na ohraňovacím lisu. Zbývající tři součásti pro zhotovení kompletního zdvihacího zařízení jsou podle přiložené výkresové dokumentace vyrobeny na obráběcích strojích.

5.1 Výrobní postupy obráběných součástí

Vedení bezpečnostního čepu – součást 4 je vyráběna na vertikálním obráběcím centru MAS MCV 1016. Rotační součásti 5 a 11, kroužek zesilující oko pro hák a bezpečností čep, jsou vyráběny na soustružnickém obráběcím centru MAS SP 280. Na obráběcím centru je všechno frézováno sousledně.

5.1.1 Vedení

Vedení – součást 4. Tato součást plní funkci vedení pro jistící čep. Ve vedení je vyfrézována díra, ve které se pohybuje čep. Ten je zajištěn kolíkem, pro který jsou v bočních stěnách vyvrtány díry. Ve vedení je uložena tlačná pružina. Vedení je navařeno na plech - součást 2.



Obrázek 5-1 - Součást 4 - vedení.

Vedení je vyráběno převážně na obráběcím centru, avšak první operací je příprava polotovaru na pásové pile. Vedení má celkové rozměry 40 x 40 x 95 mm. Aby se dala vyrobit součást předepsaných rozměrů, je zvolen přídavek na obrábění. Se započítaným přídavkem na obrábění je zvolena normalizovaná čtvercová tyč rozměru 45 mm. Obrobek je poměrně vysoký a štíhlý. Z toho důvodu je na délku zvolen přídavek 10 mm, aby byl polotovar pevně uchycen a zabránilo se tak rozměrovým nepřesnostem. Tyč je řezána pásovou pilou na délku 112 mm.

Polotovar je pevně uchopen do ručního svěráku. První operací na frézce je zarovnání čela polotovaru. To je provedeno nástrojem T1 - čelní frézou s výměnnými břitovými destičkami. Destičky mají od výrobce definovány doporučené řezné parametry obrábění - posun na zub a řeznou rychlost. Do stroje je zadáván posuv za minutu a otáčky. Tyto hodnoty jsou vypočítány ze vztahu (2.3) a (2.4). Tato zarovnaná plocha slouží jako základna pro určení nulového bodu v ose Z. U všech operací je materiál odebírán sousledným frézováním.

Doporučené řezné podmínky břitových destiček pro danou operaci:

$$f_z = 0,2 - 0,35 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 - 265 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

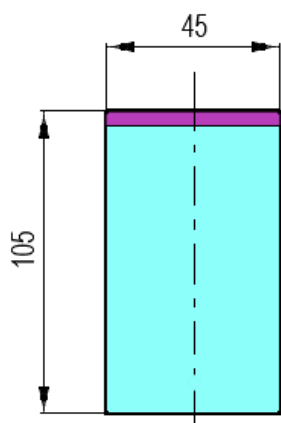
Výpočet otáček ze vztahu (2.4):

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{250 \cdot 1000}{\pi \cdot 50} = 1591 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet posuvové rychlosti ze vztahu (2.3):

$$f = n \cdot f_z \cdot z = 1591 \cdot 0,2 \cdot 4 = 1273 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Stejným způsobem jsou určeny řezné podmínky pro všechny další operace. Některé vypočítané hodnoty jsou po testování ve výrobě upraveny z důvodu snížení opotřebení nástrojů a tím prodloužení jejich trvanlivosti.



Doporučené řezné podmínky:

$$n = 1590 \text{ min}^{-1}$$

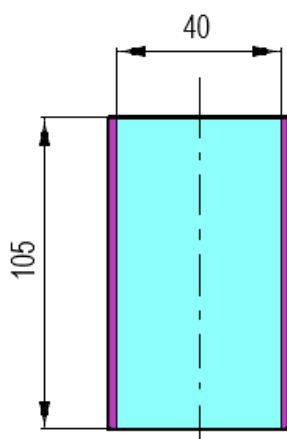
$$f = 1270 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

Obrázek 5-2 - Součást 4 - operace 1

Druhou operací je určení vztažných neboli nulových bodů obrobku. Jsou to výchozí body, které určují počátek souřadného osového systému. Špatné určení nulových bodů vede k nepřesnostem při obrábění nebo ke kolizi nástroje s obrobkem. Body jsou stanoveny v osách X, Y, Z dotykovou sondou Renishaw. Sonda najede na strany obrobku a uloží danou hodnotu. Nulové body jsou převážně voleny na roh polotovaru nebo u souměrných obrobků do středu. Zde je nulový bod zvolen v ose díry $\varnothing 25 \text{ mm}$.

Třetí operací je obrobení obvodu. Materiál je hrubován, následně frézován na čisto. Pro tyto operace je využita také čelní obvodová fréza s výměnnými břitovými destičkami – T1. Pro dokončovací operaci je použita stopková fréza – T3, ovšem s odlišnými řeznými podmínkami. Jsou zde z důvodu lepší jakosti povrchu vyšší otáčky a menší posuvová rychlost. Dále dojde ke sražení vnějších hran tvarovou frézou T8.



Doporučené řezné podmínky:

Hrubování

$$n = 1590 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 1270 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 3 \text{ mm}$$

$$a_e = 2,4 \text{ mm}$$

Dokončování

$$n = 3180 \text{ min}^{-1}$$

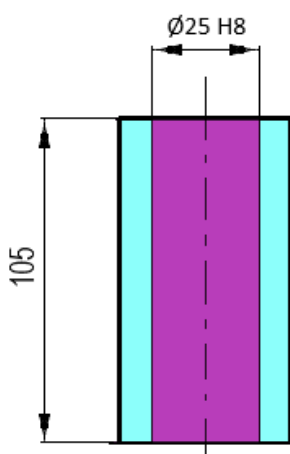
$$f = 850 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 5 \text{ mm}$$

$$a_e = 0,1 \text{ mm}$$

Obrázek 5-3 - Součást 4 - operace 3

Následuje vrtání vnitřní díry. Protože je zde zadaná tolerance H8, kterou pouhým vrtákem nelze dosáhnout, díra je předvrtána a poté následuje dokončovací operace. Díra je vrtána nástrojem T7. To je vrták z rychlořezné oceli o průměru 24 mm. Nastavení podmínek vrtání je určeno z tabulky a ověřeno výpočtem. Aby nedocházelo k ucpávání díry třískami, je nastaven postupný přísuv 3 mm. Dále je díra hrubována plátkovou frézou T2 a následně dokončena T3.



Doporučené řezné podmínky:

Vrtání

$$n = 360 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 80 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Hrubování

$$n = 3970 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 2 \text{ mm}$$

$$a_e = 0,4 \text{ mm}$$

Dokončování

$$n = 3180 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 850 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 5 \text{ mm}$$

$$a_e = 0,1 \text{ mm}$$

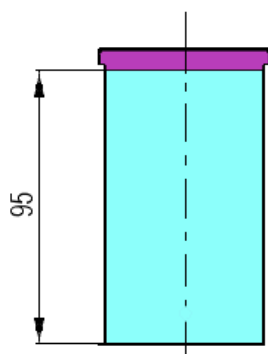
Obrázek 5-4 - Součást 4 - operace 4

Alternativním řešením je zahloubení pomocí šroubovicové interpolace. V řídicím systému je speciální cyklus pro dané operace. Jedná se o současný pohyb nástroje po kruhové dráze spolu s axiálním posuvem o stanovenou hodnotu stoupání. Ve srovnání s lineárním postupným zahlubováním (frézování drážky do plného materiálu) představuje šroubovicová interpolace proces s mnohem klidnějším průběhem, protože velikost radiálního záběru je menší, umožňuje čistě sousledné frézování a umožňuje i lepší odvádění třísek. Sousledného frézování se dosáhne stanovením dráhy nástroje proti směru hodinových ručiček. Časy obou způsobu, s předvrtáním i pomocí šroubovicové interpolace, jsou uvedeny v tabulce. Z této tabulky plyne, že časově výhodnější je díru předvrtávat, proto je také zvolen při výrobě díry tento postup.

Tabulka 5-1 - Srovnání dvou variant hloubení díry [min]

	S předvrtáním	Bez předvrtání
Vrtání	3:30	0
Výměna nástroje	0:15	0
Hrubování	8:10	15:20
Výměna nástroje	0:15	0:15
Na čisto	2:40	2:40
Celkem	14:50	18:15

Po vytvoření díry a kontrole správnosti rozměru je obrobek upnut do svěráku protěží plochou a dojde k obrobení technologického přídatku pro obrábění. Znovu je využit nástroj T1 – čelní fréza. Následuje sražení hran tvarovou frézou – T8.



Doporučené řezné podmínky:

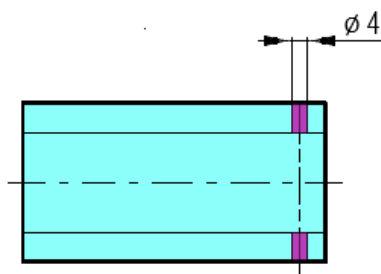
$$n = 1590 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 1270 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

Obrázek 5-5 - Součást 4 - operace 5

Poslední operací je vyvrtání bočních děr pro kolík. Obrobek je upnut bočními stěnami do svěráku. Díra je vrtána nástrojem T6 – karbidový vrták o průměru 4 mm. Řezné podmínky pro vrták o daném průměru jsou vyhledány podle tabulkových hodnot a pro kontrolu přepočítány. Na závěr je nezbytná úprava hran obrobku následována kontrolou rozměrů součásti posuvným měřidlem.



Doporučené řezné podmínky:

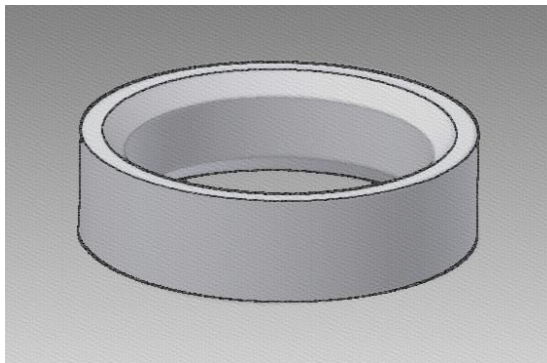
$$n = 2200 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 110 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Obrázek 5-6 - Součást 4 - operace 6

5.1.2 Kroužek

Kroužek, součást číslo 5, zesiluje oko pro hák. Tato součást je vyráběna na soustružnickém obráběcím centru. Hotový kroužek je navařen na rám – součást 1. Kroužek je vyroben z kruhové tyče 11 523 o průměru 50 mm.



Obrázek 5-7 - Součást 5 - Kroužek

Polotovár v podobě kruhové tyče je upnut ve stroji do sklíčidla. Dotykovou sondou jsou určeny nulové body. Jako první je obrobeno pomocí vnějšího hrubovacího nože čelo a plocha. Hrubovací nástroj T11 má podle výrobce doporučené řezné rychlosti v rozmezí 215 – 310 m.min⁻¹. Řezná rychlost je s ohledem na velikost součásti volena v dolní hranici a přepočítána na otáčky podle vzorce (2.3)

Doporučené řezné podmínky břitových destiček pro danou operaci:

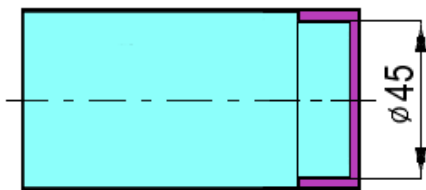
$$f_z = 0,1 - 0,3 \text{ mm}$$

$$v_c = 215 - 310 \text{ m.min}^{-1}$$

Výpočet otáček ze vztahu (2.5):

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{220 \cdot 1000}{\pi \cdot 45} = 1556 \text{ min}^{-1}$$

Součást je návarek pro další dílec zdvihacího zařízení. Svařováním se materiál může mírně zdeformovat. Proto zde není požadována vysoká přesnost a součást je obráběna na jednou bez rozlišení hrubování a dokončování.



Obrázek 5-8 - Součást 5 - operace 1.

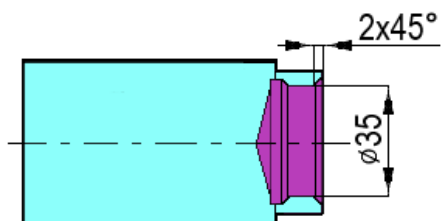
Doporučené řezné podmínky

$$n = 1556 \text{ min}^{-1}$$

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

Po obrobení obvodu je obrobena vnitřní část součásti. Polotovár je nejprve předvrtán nástrojem T14, a to vrtákem z rychlořezné oceli o průměru 30 mm. Díra je vrtána hlouběji, než je rozměr součásti, aby byl dostatek prostoru pro nástroj v následující operaci. Ta operace je obrobení vnitřních ploch vnitřním hrubovacím nožem T12 a vytvoření zkosení podle výkresové dokumentace.



Obrázek 5-9 - Součást 5 - operace 2.

Doporučené řezné podmínky:

Vrtání:

$n = 200 \text{ min}^{-1}$

$f = 56 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

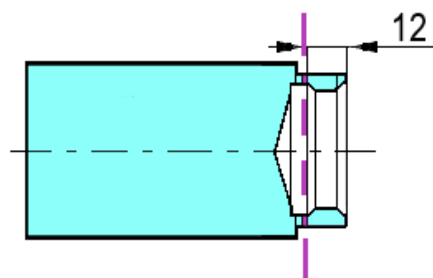
Hrubování:

$n = 2120 \text{ min}^{-1}$

$f_z = 0,2 \text{ mm}$

$a_p = 0,8 \text{ mm}$

Jakmile je obrobena vnitřní část součásti, dojde k upíchnutí obrobku. Pro tuto operaci je použit nástroj T18 – upichovací nůž.



Obrázek 5-10 - Součást 5 - operace 3.

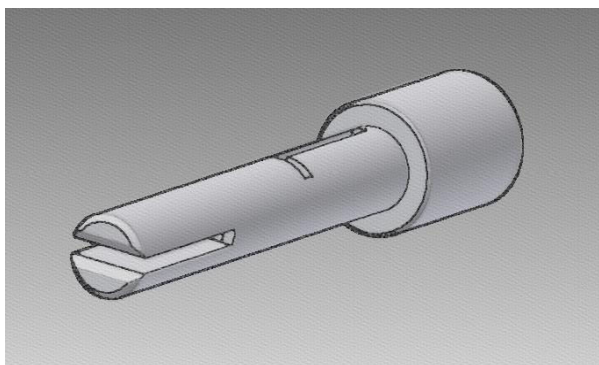
Doporučené řezné podmínky:

$n = 1060 \text{ min}^{-1}$

$f_z = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

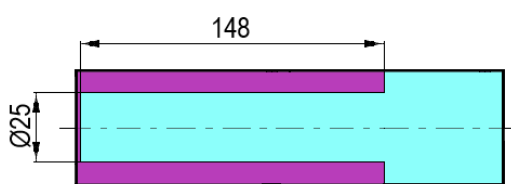
5.1.3 Čep.

Čep – součást 5. Výrobně nejsložitější součást je pojistný čep. Čep je nejprve soustružen, poté je tepelně zpracován a následně jsou frézovány drážky. Se započítáním přídavku na obrábění je polotovarem zvolena pro výrobu čepu normalizovaná kruhová tyč o průměru 45 mm. Tato tyč je pásovou pilou uřezána na délku 212 mm. Kruhová tyč je upnuta do sklíčidla, vystředěna a poté jsou odměřeny nulové body pomocí sondy Renishaw.



Obrázek 5-11 - Součást 11 - pojistný čep.

První operací je sražení čela čelním hrubovacím nožem. Řezné podmínky jsou určeny podle doporučených parametrů od výrobce, případně spočítány podle předchozích vztahů. Parametry zadávané do obráběcího centra jsou posuv, šířka záběru hlavního ostří a otáčky. Následně je hrubovacím nožem stranovým obrobena plocha v délce 148 mm na průměr 25,6 mm. Toto je tolerovaná funkční plocha, která dosedá do vedení. Z tohoto důvodu je plocha napřed obráběna nahrubo, poté je obrobena na čisto na předepsanou toleranci $\varnothing 25 \text{ d}10$. Zde je použita hladicí destička, zajišťující vysokou jakost povrchu – stranový hladicí nůž T13. Otáčky jsou přepočítány podle vzorce (2.3). Dále je sražena hrana na $2 \times 45^\circ$. Proběhne odepnutí čepu a kontrola rozměrů.



Obrázek 5-12 - Součást 11 - operace 1.

Doporučené řezné podmínky:

Hrubování

$n = 1740 \text{ min}^{-1}$

$f_z = 0,2 \text{ mm}$

$a_p = 2 \text{ mm}$

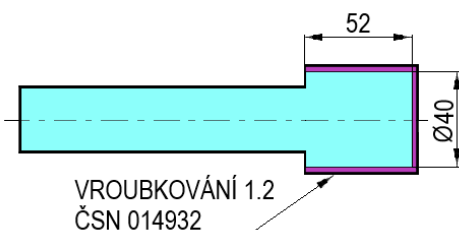
Dokončování

$n = 2080 \text{ min}^{-1}$

$f_z = 0,15 \text{ mm}$

$a_p = 0,2 \text{ mm}$

Obrobek je upnut druhou stranou do sklíčidla a jsou znovu odměřeny nulové body. Následuje sražení čela na délku obrobku 200 mm a obrobením plochy na průměr 40 mm. Další operací je vroubkování obvodové funkční části čepu. Vroubkování je provedeno také na soustružnickém centru. Podstatou vroubkování je vytlačování dvojice kosoúhlých křížujících se rýh. Dojde ke sražení vnějších hran na $1 \times 45^\circ$.



Obrázek 5-13 - Součást 11 - operace 2.

Doporučené řezné podmínky:

Hrubování

$n = 1740 \text{ min}^{-1}$

$f_z = 0,2 \text{ mm}$

$a_p = 2 \text{ mm}$

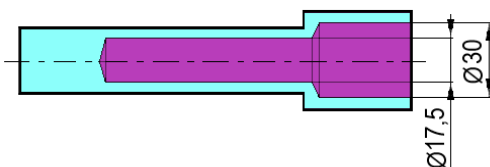
Dokončování

$n = 2080 \text{ min}^{-1}$

$f_z = 0,15 \text{ mm}$

$a_p = 0,2 \text{ mm}$

Dále jsou vrtány dvě díry. První o větším netolerovaném průměru 30 mm a hloubce 40 mm je vrtána přímo vrtákem. Druhá je díra s tolerovanou funkční plochou, která má předepsaný rozměr s tolerancí $\varnothing 17,5 \text{ H}12$ a délku 148 mm. U této díry nastává při velkém poměru průměru díry k délce problém s nedostatečnou přesností. Z toho důvodu je díra napřed předvrtána vrtákem z rychlořezné oceli o průměru 14 mm. Potom je vrtána karbidovým vrtákem na požadovaný průměr 17,5 mm. Vnitřní hrany jsou zkoseny na $1 \times 45^\circ$.



Doporučené řezné podmínky:

Vrtání Ø 30

$n = 220 \text{ min}^{-1}$

$f = 56 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

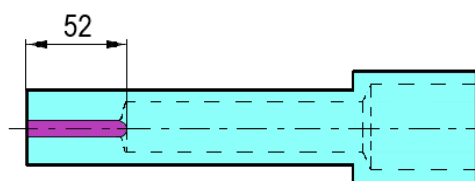
Vrtání Ø 17,5

$n = 420 \text{ min}^{-1}$

$f = 80 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Obrázek 5-14 - Součást 11 - operace 3.

Následně je obrobek odeslán na tepelné zpracování. V závěrečné fázi jsou frézovány tři drážky. Drážky jsou frézovány až po tepelném zpracování z důvodu přesnosti. První drážka o průměru 5 mm je frézována od okraje s menším průměrem do hloubky 52 mm. Další průměru 4 mm jsou frézovány na obvodu v otočení 90°. Vzdálenost 90 mm od okraje obrobku na menším poloměru – viz výkresová dokumentace.



Doporučené řezné podmínky:

$n = 5300 \text{ min}^{-1}$

$f = 650 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

$a_p = 0,2 \text{ mm}$

Obrázek 5-15 - Součást 11 - operace 4.



Obrázek 5-16 - Hotový bezpečnostní čep.

Výkon stroje

Ověření dostatečného výkonu soustružnického obráběcího stroje.

Průřez třísky:

$$A_D = a_p \cdot f_n = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ mm}^2$$

Měrný řezný odpor – pro ocel ($C = 0,10 - 0,25 \%$) určen z tabulek [6]:

$$k_c = 1500 \text{ MPa}$$

Řezná síla:

$$F_z = A_D \cdot k_c = 0,4 \cdot 1500 = 600 \text{ N}$$

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{F_z \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} = \frac{600 \cdot 250}{60 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ kW}$$

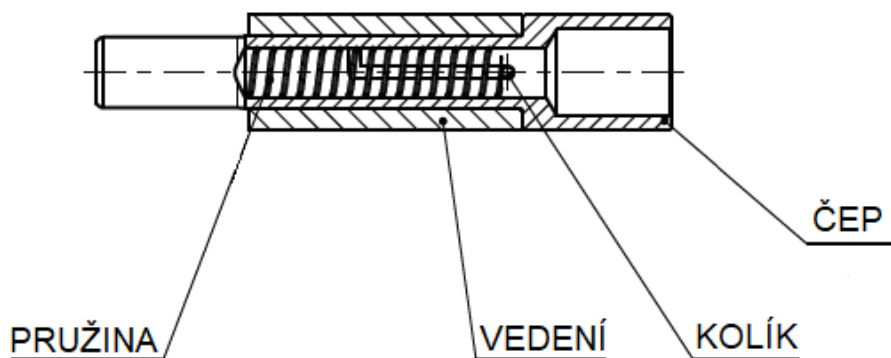
Výkon obráběcího stroje – $P_v = 22 \text{ kW}$.

$$P_v > P_c$$

Výkon stroje je vyhovující pro danou operaci.

5.1.4 Zámek

Zámek se skládá z pojistného čepu, vedení čepu, kolíku a tlačné pružiny. Funkcí čepu je zajišťování chladiče na zdvihacím zařízení při jeho manipulaci.



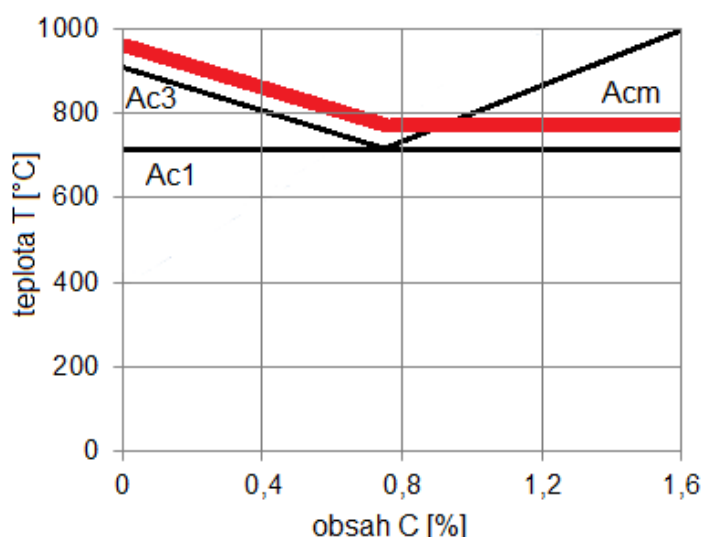
Obrázek 5-17 – Zámek.

Když je chladič na zdvihacím zařízení, zámek je zavřený a pružina je roztáhnutá. Tlačí čep směrem ke chladiči tak, aby zdvihací chladič nemohl vypadnout.

Pro povolení chladiče je nutné stlačit pružinu a otočit s čepem. Čep se v místě dorazu otočí o 60° stupňů a aretuje se za kolík. Zde je prostor pro nakládku nebo montáž chladiče.

5.2 Tepelné zpracování

Pro součást číslo 11 – pojistný čep je předepsáno tepelné zpracování. Tepelné zpracování je zde navrženo z důvodu zvýšení pevnosti a ořezuvzdornosti čepu. Součást 11 je zušlechťena na 800 – 900 MPa. Zušlechťování se skládá z kalení a popouštění. Cílem zušlechťování je dosažení optimálního poměru mezi pevností a houževnatostí. Principem kalení je převedení perlitické struktury na martenzitickou, případně bainitickou. Materiál je ohříván na teplotu austenitizace, následně materiál setrvává na dané teplotě a poté je ochlazen kritickou rychlostí. Způsob, v jakém prostředí je materiál ochlazován, má zásadní vliv na konečné vlastnosti. U podeutektoidních ocelí je materiál ohříván těsně nad křivku A_{c3} . Nadeutektoidní oceli jsou ohřívány jen nad A_{c1} , jelikož v těchto ocelích zůstávají karbidy, které mají ještě větší tvrdost než martenzit, tudíž by bylo ohřívání materiálu na vyšší teploty kontraproduktivní. Popouštění se používá s cílem snížení křehkosti po kalení [14].



Obrázek 5-18 - Vhodné kalící teploty oceli.

Součást je zušlechťena v kalící peci s programovatelným regulátorem MicroTherm na 23 – 27 HRC, to odpovídá mezi pevnosti v tahu 800 – 900 MPa. Součást bude ochlazována v oleji. Výsledná struktura odpovídá jemnému perlitu. Tento druh oceli lze zušlechťit i na vyšší tvrdosti. Z důvodu dynamického zatěžování u součásti není předepsána maximální tvrdost, protože je požadavek i na vysokou houževnatost. Časy TZ jsou v následující kapitole.

Tabulka 5-2 - Parametry tepelného zpracování součásti 11.

Druh oceli	12 050
Obsah uhlíku [max %]	0,5
Kalící teplota [°C]	840
Popouštěcí teplota [°C]	450
Tvrdost [HRC]	23 - 27
Mez pevnosti v tahu [MPa]	800 - 900

5.3 Svařování

Závěrečnou technologií umožňující dokončení zdvihacího zařízení je svařování. Svařováním vznikají nerozebíratelné spoje, tudíž z jednotlivých součástí vznikne jeden celek. Svařování se dělí na tavné a tlakové. U dané součásti je zvoleno tavné svařování. Součást bude svařována elektrickým obloukem s tavící se elektrodou v ochranné atmosféře. Zdrojem tepla je elektrický oblouk, který vzniká mezi elektrodou a svařovaným materiálem. Je zvolena metoda 135 - MAG (Metal Active Gas). Ochranným plynem je směs argonu s oxidem uhličitým – Ar + CO₂. Ochranný plyn chrání roztavený kov před reakcí s kyslíkem nebo dusíkem a má také vliv na kvalitu svárového spoje.

Obecně jsou ke svařování vhodné oceli do 0,22 % uhlíku. Dané součásti jsou z oceli 11 523. Vhodnost oceli ke svařování je ověřena výpočtem uhlíkového ekvivalentu z chemického složení. Pokud je obsah uhlíku menší než 0,2 %, uhlíkový ekvivalent nepřesahuje 0,45 % a tloušťka materiálu je do 25 mm, nejsou ke svařování nutná další opatření, jako například předehřev.

Uhlíkový ekvivalent:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

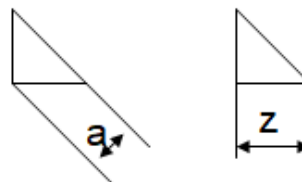
Materiál má maximální obsah uhlíku do 0,2 %, je vhodný ke svařování.

Šířka svaru:

$$a = (0,5 - 0,7) \cdot t$$

$$z = a \cdot \sqrt{2}$$

$$z = 0,6 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 3 \text{ mm}$$



Šířka svaru se odvíjí od tloušťky svařované součásti. Šířka svaru je 3 mm.

Součást bude svařena podle přiložené výkresové dokumentace a podle níže uvedených parametrů. Časová náročnost je uvedena v následující kapitole.

Tabulka 5-3 - Parametry svařování.

Druh oceli	11 523
Obsah uhlíku [max %]	0,2
Typ svaru	koutový
Šířka svaru [mm]	3
Proud [A]	200
Napětí [V]	22
Průměr drátu [mm]	1
Rychlost podávání drátu [m/min]	10
Ochranný plyn	CO ₂ (18 %) + Ar (82 %)

Tabulka 5-4 - Svařované součásti.

Číslo operace	Čísla svařovaných součástí	Délka svaru [mm]
1	1 + 2	2600
2	2 + 8	1024
3	2 + 4	180
4	2 + 3	350
5	2 + 7	1000
6	2 + 6	50
7	1 + 5	280



Obrázek 5-19 - Hotový svařenec.

5.4 Dokončovací operace

Pro úplné zhotovení zdvihacího zařízení je nutné ještě několik dokončovacích operací. Jednou z nich je sešroubování součástí 3, 9 a 10 pomocí zakoupených šroubů a matic. Složení bezpečnostního čepu. Pružina je vložena do čepu a zabezpečena kolíkem. Podle požadavků zákazníka je součást lakována žlutou barvou. Na součást 6, 7 a 10 jsou nalepeny pryžové U-profil. Plochy je nutné před lepením odmastit a použít vhodné lepidlo. Poslední operací je provedení bezpečnostní zkoušky. Součást je určena pro zatížení chladičem o hmotnosti 60 kg. Zkoušena je na nosnost 100 kg. Pokud nejsou při kontrole po bezpečnostní zkoušce viditelné žádné poruchy svarů nebo mechanických součástí, je součást kompletně hotová a připravena pro zákazníka.

6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup popisuje sled operací ve správném pořadí a se správnými parametry. Je to soubor úkonů, které je nutné vykonat, aby se z polotovaru stal požadovaný výrobek. V této kapitole je spočítána časová náročnost jednotlivých výrobních technologií zvolených pro výrobu dané součásti. Dále jsou pro tyto navržené výrobní technologie vytvořeny technologické postupy.

6.1 Řezání laserem

Do časové náročnosti pro tuto technologii nejsou započítány kontrolní úkony jako kontrola množství plynu v bombách, kontrola množství chladicí kapaliny nebo kontrola čistoty čočky, které by před každou činností na stroji měli proběhnout. Je uvažováno, že stroj je v permanentním provozu. Počítáno je pouze s časem konkrétního řezání a výměnou palet s plechy.

Tabulka 6-1 - Průměrné řezné rychlosti uhlíkové oceli laserem o výkonu 3 kW.

Tloušťka materiálu [mm]	Průměrná rychlost [m/min]
2	6
4	3,5
6	2,5
8	1,8
10	1,3

V následující tabulce jsou spočítány a ve výrobě změřeny a ověřeny časy pro pálení daných součástí. Většina součástí je z plechu o tloušťce 4 mm, součást 1 je z plechu tloušťky 6 mm a součást 9 z plechu o tloušťce 10 mm. V konečných časech jsou zahrnuty i přejezdy a pálení děr.

Tabulka 6-2 - Řezné časy jednotlivých součástí.

Číslo součásti	Délka řezu [mm]	Čas [s]
2	2700	50
3	1034	23
6	116	5
7	1036	19
8	1004	18
10	1060	24
1	3705	96
9	842	48

Tabulka 6-3 - Výsledné řezné časy.

Operace	Čas [min]
Import výkresů a nastavení podmínek	5
Řezání	6
Výměna palet	3
Celkový čas	14

6.2 Třískové obrábění

Technologický postup pro třískové obrábění na CNC strojích je popsán podrobněji. V postupech jsou uvedeny druhy operace, použité nástroje, vhodné řezné podmínky a časy jednotlivých operací. Firma se specializuje výhradně na kusovou výrobu. Strojní časy zahrnují všechny technologické činnosti včetně pracovních úkonů spojených z výrobou dané součásti. Pro každou operaci jsou navrženy a ve výrobě ověřeny jednotkové časy. S ohledem na kusovou výrobu jsou navrženy přesné časy, které nadále nejsou násobeny směnovým koeficientem.

Tabulka 6-4 - Technologický postup vedení pro CNC stroje.

	Název součásti	Materiál	Polotovar	
	VEDENÍ	ČSN 41 1523	45x45x112	
Číslo operace	Popis práce	Nástroj	Řezné podmínky	Čas [min]
	ŘEZÁNÍ	Pásová pila BOMAR 320.250 DGH		
10	Připravit materiál ČSN 41 1523, Dělit materiál ČSN 41 1523, řezat na 112±0,2 mm, odjehlít, kontrolovat rozměr	Pilový pás	$v_c = 40 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 15 \text{ mm.min}^{-1}$	14
	FRÉZOVÁNÍ	MAS MCV 1016 QUICK		
20	Upnout polotovar 45x45x112 mm	Svěrák		1
30	Určit nulové body	T0 - dotyková sonda Renishaw		3
40	Zarovnat horní plochu	T1 - čelní fréza CoroMill® 345 Ø50	$n = 1590 \text{ min}^{-1}$ $f = 1270 \text{ mm.min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	1
50	Obrobit obvodovou plochu - hrubování	T1 - čelní válcová fréza CoroMill® 345 Ø50	$n = 1590 \text{ min}^{-1}$ $f = 1270 \text{ mm.min}^{-1}$ $a_p = 3 \text{ mm}$ $a_e = 2,4 \text{ mm}$	5,5
60	Obrobit obvodovou plochu - na čisto	T3 - stopková fréza CoroMill® Plura Ø20	$n = 3180 \text{ min}^{-1}$ $f = 850 \text{ mm.min}^{-1}$ $a_p = 5 \text{ mm}$ $a_e = 0,1 \text{ mm}$	3,7
70	Vrtat díru Ø24 mm, nastavit přísuv 5 mm	T7 - vrták CoroDrill® 460 Ø24	$n = 360 \text{ min}^{-1}$ $f = 80 \text{ mm.min}^{-1}$	3,5

Číslo operace	Popis práce	Stroj / nástroj	Řezné podmínky	Čas [min]
80	Hrubovat díru Ø25	T2 - čelní válcová fréza CoroMill® 390 Ø20	$n = 3970 \text{ min}^{-1}$ $f = 600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 2 \text{ mm}$ $a_e = 0,4 \text{ mm}$	8,1
90	Dokončit díru Ø25	T3 - stopková fréza CoroMill® Plura Ø20	$n = 3180 \text{ min}^{-1}$ $f = 850 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 5 \text{ mm}$ $a_e = 0,1 \text{ mm}$	2,5
100	Srazit hrany 1x45°	T5 - tvarová fréza CoroMill® Plura Ø10	$n = 3200 \text{ min}^{-1}$ $f = 500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	1
110	Odepnout obrobek, odjehlít	Ruční bruska		2
120	Kontrolovat rozměry	Posuvné měřidlo		1
130	Upnout obrobek na protější stranu	Svěrák		1
140	Určit nulové body	Dotyková sonda Renishaw		3
150	Zarovnat horní plochu	T1 - čelní fréza CoroMill® 345 Ø50	$n = 1590 \text{ min}^{-1}$ $f = 1270 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	1,8
160	Srazit hrany 1x45°	T5 - Tvarová fréza CoroMill® Plura Ø10	$n = 3200 \text{ min}^{-1}$ $f = 500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	1
170	Odepnout obrobek, odjehlít, kontrolovat rozměr	Ruční bruska, posuvné měřidlo		2
180	Upnout obrobek na boční stranu	Svěrák		1
190	Určit nulové body	Dotyková sonda Renishaw		3
200	Vrtat díru Ø4 mm	T6 - vrták CoroDrill® 460 Ø4	$n = 2200 \text{ min}^{-1}$ $f = 110 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	0,5
210	Upnout obrobek na protější stranu	Svěrák		1
220	Vrtat díru Ø4 mm	T6 - vrták CoroDrill® 460 Ø4	$n = 2200 \text{ min}^{-1}$ $f = 110 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	0,5
230	Kontrolovat konečné rozměry	Posuvné měřidlo		3
	Celkový čas			64,1

Tabulka 6-5 - Technologický postup kroužku pro CNC stroje.

	Název součásti	Materiál	Polotovar	
	KROUŽEK	ČSN 41 1523	Ø50	
Číslo operace	Popis práce	Stroj / nástroj	Řezné podmínky	Čas [min]
	SOUSTRUŽENÍ	MAS SP 280		
10	Upnout do sklíčidla normalizovanou tyč ČSN 41 1523 Ø50, vystředit	Sklíčidlo		4
20	Určit nulové body	T10 - dotyková sonda Renishaw		3
30	Zarovnat čelo 1 mm	T11 - vnější hrubovací nůž CoroTurn® 107	$n = 1556 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	0,3
40	Hrubovat Ø45 do délky 15 mm	T11 - vnější hrubovací nůž CoroTurn® 107	$n = 1556 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	1,5
50	Vrtat Ø30 do hloubky 18 mm	T14 - vrták HSS Ø30	$n = 200 \text{ min}^{-1}$ $f = 56 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	1,2
60	Dokončit Ø35 do hloubky 15 mm, zkosit vnitřní hrany 2x45°	T12 - vnitřní hrubovací nůž CoroTurn® 107	$n = 2120 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 0,8 \text{ mm}$	2,5
70	Upíchnout na délku 12 mm	T18 - upichovací nůž CoroCut® QD	$n = 1060 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,1 \text{ mm}$	1,4
80	Odjehlit, kontrolovat rozměry	Ruční bruska, posuvné měřidlo		3
	Celkový čas			16,9

Tabulka 6-6 - Technologický postup bezpečnostního čepu pro CNC stroje.

	Název součásti	Materiál	Polotovar	
	BEZPEČNOSTÍ ČEP	ČSN 41 2050	Ø45 x 212	
Číslo operace	Popis práce	Stroj / nástroj	Řezné podmínky	Čas [min]
	ŘEZÁNÍ	Pásová pila BOMAR 320.250 DGH		
10	Připravit materiál ČSN 41 2050, dělit materiál ČSN 41 2050, řezat na $212 \pm 0,2$ mm, odjehlít, kontrolovat rozměr	Pilový pás	$v_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = 15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	12
	SOUSTRUŽENÍ	MAS SP 280		
20	Upnout do sklíčidla - 45 mm, vystředit	Sklíčidlo		7
30	Určit nulové body	T10 - dotyková sonda Renishaw		3
40	Zarovnat čelo 1 mm	T11 - vnější hrubovací nůž CoroTurn® 300	$n = 1740 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	0,5
30	Hrubovat Ø25,6 x v délce 148 mm, srazit hranu $2 \times 45^\circ$	T11 - vnější hrubovací nůž CoroTurn® 107	$n = 1740 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 2 \text{ mm}$	4,2
50	Dokončit Ø25 d10 x v délce $148 \pm 0,2$ mm	T13 - stranový hladící nůž CoroTurn® 107	$n = 2080 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,15 \text{ mm}$ $a_p = 0,2 \text{ mm}$	1,5
60	Kontrolovat rozměry	Posuvné měřidlo		2
70	Odepnout, otočit, upnout druhou stranou, vystředit, určit nulové body	T0 - dotyková sonda Renishaw, sklíčidlo		8
80	Zarovnat čelo v délce $200 \pm 0,2$ mm	T11 - vnější hrubovací nůž CoroTurn® 300	$n = 1740 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 2 \text{ mm}$	2,6
90	Hrubovat Ø40 x v délce 52 mm, srazit hranu $2 \times 45^\circ$	T11 - vnější hrubovací nůž CoroTurn® 107	$n = 1740 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 2 \text{ mm}$	1,2
100	Vroubkovat Ø40 x v délce 52 mm ČSN 014932 1.2	T17 - vroubkovací kolečka	$f_z = 0,15 \text{ mm}$	3,5
110	Vrtat Ø30 x do hloubky 40 mm	T14 - vrták HSS Ø30	$n = 220 \text{ min}^{-1}$ $f = 56 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	1

Číslo operace	Popis práce	Stroj / nástroj	Řezné podmínky	Čas [min]
120	Předvrtat Ø14 x do hloubky 148 mm, přisuv 5 mm	T15 - vrták HSS Ø14	$n = 500 \text{ min}^{-1}$ $f = 95 \text{ mm.min}^{-1}$	6,2
130	Vrtat Ø17,5 H12 x do hloubky 148 mm	T16 - vrták CoroDrill® 460 Ø17,5	$n = 420 \text{ min}^{-1}$ $f = 80 \text{ mm.min}^{-1}$	2,2
140	Zkosit hrany 1x45°	T13 - stranový hladící nůž CoroTurn® 107	$n = 2300 \text{ min}^{-1}$ $f = 0,2 \text{ mm}$ $a_p = 0,5 \text{ mm}$	1,5
150	Kontrolovat rozměry, očistit	Posuvné měřidlo		2
	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ			
	Odeslat na tepelné zpracování - zušlechťování	Kalící pec	Zušlechtit na 1200 - 1300 MPa	
	FRÉZOVÁNÍ	MAS MCV 1016 QUICK		
160	Upnout obrobek	Svěrák		1
170	Určit nulové body	T0 - dotyková sonda Renishaw		3
180	Frézovat drážku 5 v délce 52 mm	T5 - stopková fréza CoroMill® Plura Ø5	$n = 5300 \text{ ot.min}^{-1}$ $f = 650 \text{ mm.min}^{-1}$ $a_p = 0,25 \text{ mm}$	11
190	Odepnout, otočit o 90°, upnout	Svěrák		2
200	Frézovat drážku 4,2 v délce 53 mm	T6 - stopková fréza CoroMill® Plura Ø4	$n = 5800 \text{ ot.min}^{-1}$ $f = 500 \text{ mm.min}^{-1}$ $a_p = 0,2 \text{ mm}$	3,4
210	Odepnout, otočit o 180°, upnout	Svěrák		2
220	Frézovat drážku 4,2 v délce 53 mm	T6 - stopková fréza CoroMill® Plura Ø4	$n = 5800 \text{ ot.min}^{-1}$ $f = 500 \text{ mm.min}^{-1}$ $a_p = 0,2 \text{ mm}$	3,4
230	Konečná kontrola rozměrů, kontrolovat rozměry, odjehlit	Posuvné měřidlo, ruční bruska		3
	Celkový čas			87,2

U kusové výroby je pro úplnost u jednotlivých součástí nutné k daným výrobním časům přičíst přibližně 10 minut k naprogramování stroje a zadání daných řezných podmínek. Tento čas nelze určit přesně, odvíjí se od zkušeností konkrétního pracovníka.

Tabulka 6-7 - Celkové časy pro třískové obrábění na CNC strojích.

Označení součásti	Čas [min]
Vedení - 4	75
Kroužek - 5	27
Bezpečností čep - 11	97
Celkový čas	199

Technologický postup pro konvenční stroje

Pro porovnání výběru vhodnější technologie mezi konvenčními stroji a CNC stroji je jako hlavní kritérium zvolen výrobní čas. Konvenční stroje mají obecně menší výkony a obrábění na nich probíhá za podstatně menších řezných rychlostí. Od toho se taky odvíjí delší řezné časy. Naopak u nich odpadá nutnost vytváření programů a určování nulových bodů, což vede u kusové výroby k časové úspoře oproti CNC strojům.

Součásti kroužek a bezpečností čep je možné vyrábět podle stejného výrobního postupu, ovšem za jiných řezných podmínek. U součásti vedení je nutné výrobní postup změnit.

Polotovarem je také čtvercová tyč o straně 45 mm. Ta je upnuta na soustruh do čtyřčelistového sklíčidla. Do polotovaru je vyvrtána díra, která je následně soustružena na požadovaný rozměr o dané toleranci. Následně je z materiálu frézována pravidelná krychle. Nejprve jsou frézovány jednotlivé strany, poté jsou frézována obě čela na požadovaný rozměr. Předposlední operací je sražení dvou stěn pod úhlem 45°. Na závěr jsou v bocích stěn vyvrtány díry pro jistící kolík. Níže je uveden technologický postup. Práce na konvenčním stroji uvažuje s vysokou kvalifikací dělníka, proto je postup částečně zjednodušen.

Tabulka 6-8 - Technologický postup vedení pro konvenční stroje.

	Název součásti	Materiál	Polotovar	
	VEDENÍ	ČSN 41 1523	45x45x100 mm	
Číslo operace	Popis práce	Nástroj	Řezné podmínky	Čas [min]
	ŘEZÁNÍ	Pásová pila		
10	Připravit materiál ČSN 41 1523, Dělit materiál ČSN 41 1523, řezat na $100 \pm 0,2$ mm, odjehlít, kontrolovat rozměr	Pilový pás	$v_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = 15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	14
	SOUSTRUŽENÍ	SUI 40/1500		
20	Upnout do sklíčidla	Čtyřčelist'ové sklíčidlo		5
30	Vrtat Ø24 do hloubky 100 mm	Vrták Ø24	$n = 280 \text{ min}^{-1}$ $f = 67 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	6
40	Soustružit vnitřní průměr Ø25	Vnitřní ubírací nůž	$n = 420 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,15 \text{ mm}$	5
	FRÉZOVÁNÍ	FA 3 AV		
50	Upnout do svěráku	Svěrák		3
60	Zarovnat plochu	Čelní fréza Ø50	$n = 355 \text{ min}^{-1}$ $f = 180 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	2
70	Upnout protější plochou, frézovat na rozměr 40 mm	Čelní fréza Ø50	$n = 355 \text{ min}^{-1}$ $f = 180 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	4
80	Upnout boční plochou, zarovnat plochu	Čelní fréza Ø50	$n = 355 \text{ min}^{-1}$ $f = 180 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	3
90	Upnout protější plochou, frézovat na rozměr 40 mm	Čelní fréza Ø50	$n = 355 \text{ min}^{-1}$ $f = 180 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$	3
100	Upnout, zarovnat čelní plochy na délku 95 mm	Čelní fréza Ø35	$n = 520 \text{ min}^{-1}$ $f = 220 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_e = 0,5 \text{ mm}$	7
110	Upnout, vrtat díry Ø4	Vrták Ø4	$n = 1850 \text{ min}^{-1}$ $f = 110 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	3
120	Odepnout, kontrolovat rozměry, odjehlít	Posuvné měřidlo, ruční bruska		5
	Celkový čas			60

Technologický postup pro konvenční stroje je pro součásti 5 a 11 totožný jako postup pro CNC stroje. Jediná změna je v řezných podmínkách, která se odvíjí od výběru odlišných strojů a nástrojů. Z této změny vyplývá i rozdílnost ve výrobních časech. Výrobu prodlužuje i výměna nástrojů. Zatímco u CNC stroje je možnost automatické výměny až 12 nástrojů z nástrojové hlavy, u konvenčního soustruhu si obsluha stroje musí mezi každou operací měnit nástroje ručně. Z důvodu stejného postupu je níže uvedena pouze časová náročnost výroby daných součástí na konvenčních strojích.

Tabulka 6-9 - Časová náročnost výroby součásti 5 na konvenčních strojích.

Popis operace	Čas [min]
Upnout polotovár, vystředit	8
Soustružit vnější plochu Ø 45	4
Vrtat díru Ø 30	3
Soustružit vnitřní plochu Ø 35	4
Upíchnout	3
Odjehlít, kontrolovat	3
Celkový čas	25

U součásti 11, bezpečnostního čepu, jsou časy oproti CNC strojům prodlouženy nejenom kvůli nižším řezným rychlostem a ruční výměně nástrojů, ale vzniká zde i větší časová náročnost na frézování drážek. Konvenční fréza nemá dotykovou sondu, tudíž odměření středu součásti a frézování drážek je časově náročnější a vyžaduje vysokou odbornost frézaře.

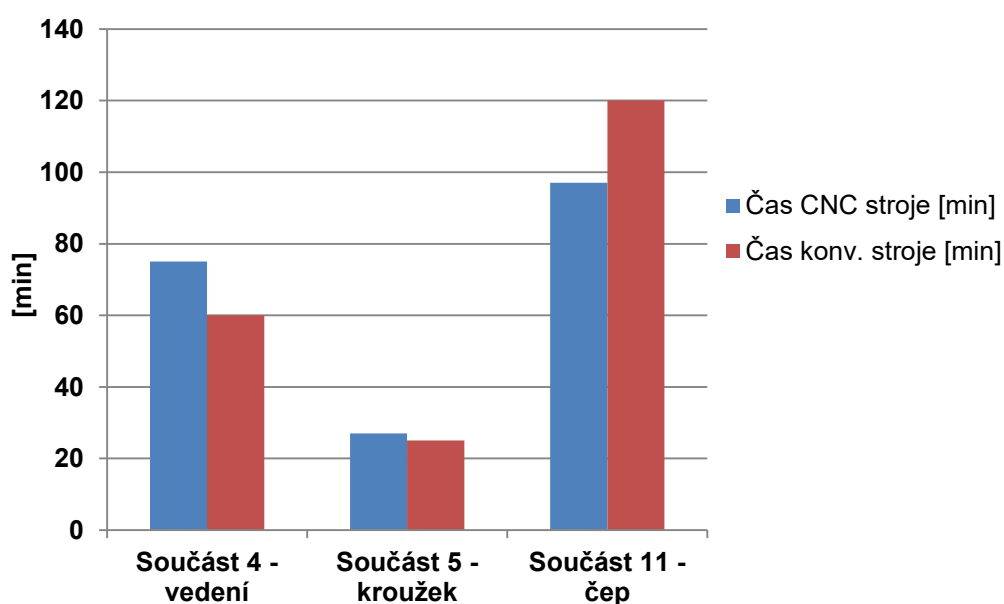
Tabulka 6-10 - Časová náročnost výroby součásti 11 na konvenčních strojích.

Popis operace	Čas [min]
Dělit materiál	12
Upnout polotovár, vystředit	9
Soustružit vnější plochu Ø 25	13
Upnout polotovár druhou stranou	8
Soustružit vnější plochu Ø 40	6
Vroubkovat	7
Vrtat Ø 17,5 a Ø 30	18
Frézovat drážky	40
Odjehlít, kontrolovat	5
Celkový čas	120

Tabulka 6-11 - Srovnání výrobních časů pro CNC a konvenční stroje.

Označení součásti	Čas CNC stroje [min]	Čas konv. stroje [min]
Součást 4 - vedení	75	60
Součást 5 - kroužek	27	25
Součást 11 - čep	97	120
Celkový čas	199	205

Srovnání výrobních časů obou variant výrobních postupů ukazuje, že u kusové výroby poměrně jednoduchých součástí je vhodné zvážit výrobu některých součástí na konvenčním stroji. To platí zejména u pravoúhlé součásti vedení. U CNC strojů výrazně prodlužuje výrobní čas vytváření výrobních programů a zjišťování nulových bodů. Toto u sériové výroby pro další kusy odpadá a výsledné výrobní časy jsou výrazně odlišné. Návrh výroby pro malosériovou výrobu je popsán v následující kapitole. Výhodou CNC strojů u kusové výroby je primárně vysoká přesnost. Jejich rychlost a produktivita se vyplácí především u složitějších součástí a u vícekusové výroby.



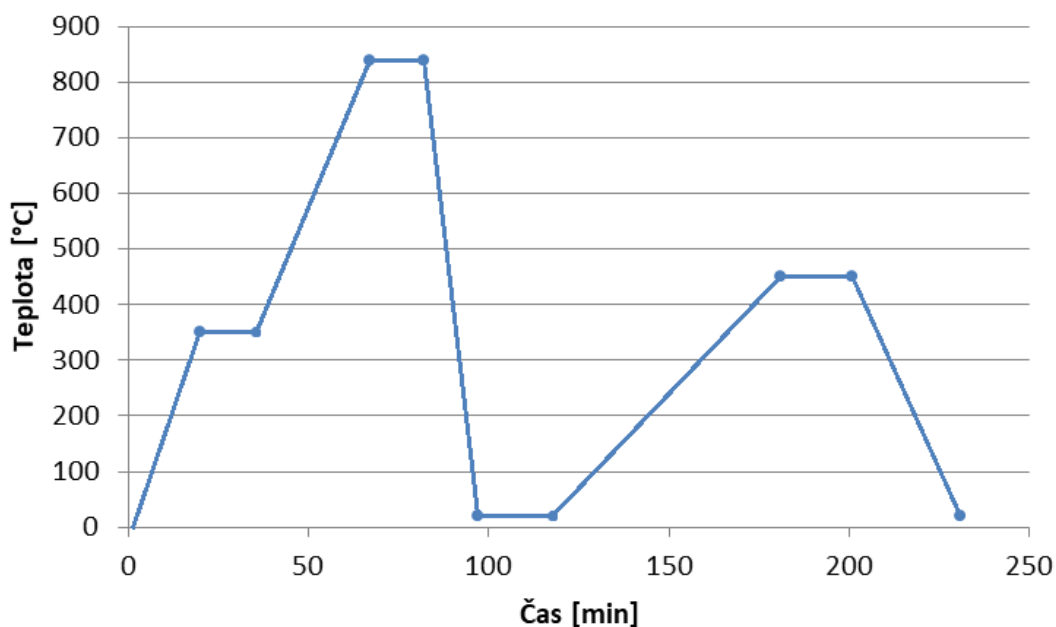
Obrázek 6-1 - Srovnání výrobních časů pro CNC a konvenční stroje.

6.3 Tepelné zpracování

Technologický postup tepelného zpracování je navržen pro součást 11. Součást je nejprve kalena při 840°C a následně popuštěna při 450°C na požadovanou tvrdost 23 – 27 HRC.

Tabulka 6-12 - Technologický postup tepelného zpracování součásti 11.

Číslo operace	Popis práce	Teplota [°C]	Čas [min]
10	Navázat na drát, založit do pece		1
20	Předežřát	350	20
30	Ohřát na kalicí teplotu	840	47
40	Ponechat prohřát	840	15
50	Ochladit	20	15
60	Ohřát na popouštěcí teplotu	450	84
70	Ponechat prohřát	450	20
80	Ochladit	20	30
90	Kontrolovat tvrdost		2
	Celkový čas		234



Obrázek 6-2 - Průběh tepelného zpracování součásti 11.

6.4 Ohýbání

Tabulka 6-13 - Časová náročnost ohýbání.

Popis práce	Čas ruční ohýbačka [min]	Čas ohraňovací lis [min]
Ohnout součást 2	3	2
Ohnout součást 3	3	2
Celkový čas	6	4

6.5 Svařování

Tabulka 6-14 - Výrobní postup svařování.

Číslo operace	Popis práce	Čas [min]
10	Připravit	30
20	Svařit, pozice 1 + 2	10
30	Svařit, pozice 2 + 8	4
40	Svařit, pozice 2 + 4	1
50	Svařit, pozice 2 + 3	2
60	Svařit, pozice 2 + 7	4
70	Svařit, pozice 2 + 6	1
80	Svařit, pozice 1 + 5	2
	Celkový čas	54

6.6 Dokončovací práce

Ke zjištění celkového potřebného času pro výrobu kompletního zdvihacího zařízení jsou započítány i časy dokončovacích prací.

Tabulka 6-15 - Časová náročnost dokončovacích operací.

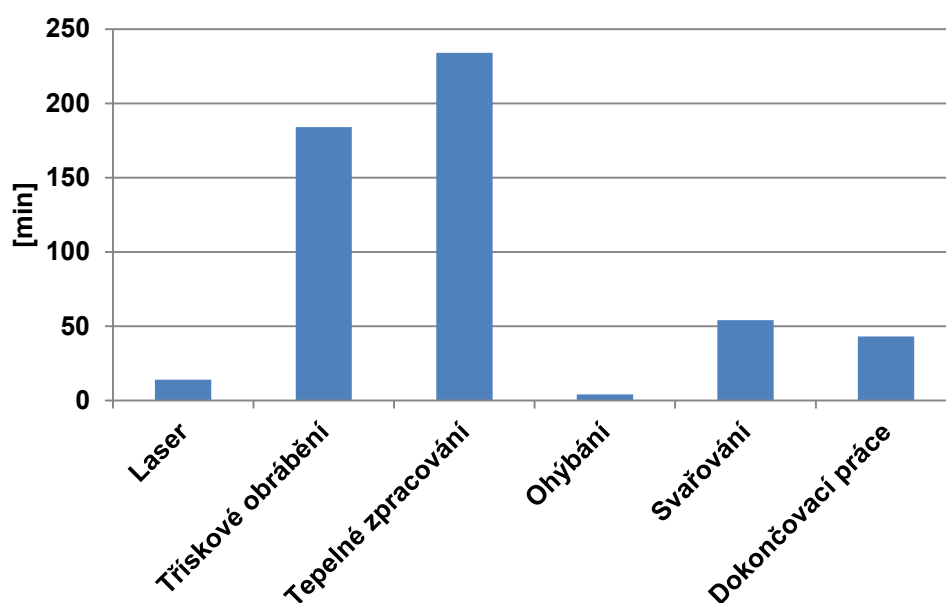
Popis operace	Čas [min]
Lakování	15
Nalepení pryžových profilů	10
Montáž čepu	3
Montáž opěrného plechu	5
Zkouška nosnosti	10
Celkový čas	43

6.7 Celková časová náročnost výroby

V následující tabulce jsou uvedeny celkové časy pro kompletní výrobu dané součásti. U třískového obrábění je pro kusovou výrobu součásti vedení a kroužek zvolen konvenční soustruh a konvenční frézka, pro bezpečností čep je zvolena výroba na CNC strojích.

Tabulka 6-16 - Časová náročnost kompletní kusové výroby.

Popis operace	Čas [min]
Laser	14
Třískové obrábění	182
Tepelné zpracování	234
Ohýbání	4
Svařování	54
Dokončovací práce	43
Celkový čas	531



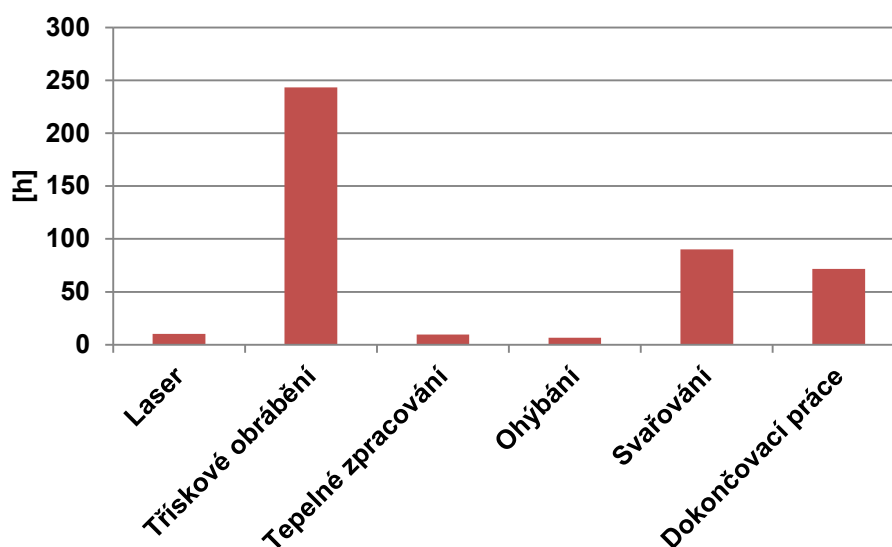
Obrázek 6-3 - Časová náročnost kompletní kusové výroby.

6.8 Malosériová výroba

U malosériové výroby je počítáno s výrobní sérií 100 ks. U technologie třískového obrábění je zvoleno obrábění na CNC strojích. Výrobní časy se redukují, jelikož jsou zkráceny o tvorbu programu a zjišťování nulových bodů. Tyto úkony jsou provedeny pouze u první součásti, není nutné je opakovat u dalších. U technologie řezání laserem je nutné započítat časy pro výměnu palet. Časy tepelného zpracování jsou taky zásadně zmenšeny. Kalící pec má kapacitu až pro 60 čepů, tudíž lze celou sérii tepelně zpracovat na dvě založení do pece.

Tabulka 6-17 - Časová náročnost kompletní malosériové výroby.

Popis operace	Čas [min]	Čas [h]
Laser	616	10,3
Třískové obrábění	14 600	243,3
Tepelné zpracování	582	9,7
Ohýbání	400	6,6
Svařování	5 400	90
Dokončovací práce	4 300	71,6
Celkový čas	25 898	431,6



Obrázek 6-4 - Časová náročnost kompletní malosériové výroby.

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

7.1 Technické zhodnocení

Navržená technologie je zvolena s ohledem na požadovanou přesnost a minimální časovou náročnost. Pro třískové obrábění jsou navrženy dva způsoby výroby. Na konvenčních strojích a na CNC strojích. Každá z technologií má své výhody. U konvenčních strojů je výroba více závislá na obsluze stroje. Samotný jednotkový čas je vůči CNC strojům větší, přesnost výrobního procesu nedosahuje také míry přesnosti jako u CNC. U obou variant je snaha o minimální počet upnutí obrobku. I přes tuto snahu je například u součásti vedení pro konvenční stroje nutnost osmi upnutí ve srovnání se třemi pro CNC. S narůstajícím počtem upnutí narůstá riziko výroby zmetku. Ovšem u kusové výroby jsou celkové výrobní časy konvenčních strojů srovnatelné s CNC, což platí zejména u těchto jednodušších součástí. Výrobní časy u CNC výroby jsou prodlouženy zejména vytvářením programů pro stroje. Výhoda CNC strojů výrazněji vyniká s narůstajícím počtem kusů.

Tvar součásti je navržen zákazníkem, tudíž zde nejsou prostory pro úpravy. Materiálem deseti součástí z jedenácti je zvolena ocel 11 523. To je ocel vhodná ke svařování. U bezpečnostního čepu je zvolen jiný materiál. Tato součást nebude svařována, ovšem jsou zde požadavky na pevnost, tvrdost a otěruvzdornost. Z toho důvodu je předepsáno tepelné zpracování. Podle požadavku na tepelné zpracování je zvolena ocel 12 050. Tepelné zpracování ovšem ve výrobním procesu zabírá největší časový úsek, proto by stála za zvážení volba jiného materiálu, který by splňoval dané požadavky a nemusel by být tepelně zpracován. Alternativním materiálem by mohla být například pružinová ocel 14 260. Cena této oceli je v průměru o třetinu vyšší a její obrobitelnost je horší. Avšak charakteristickými vlastnostmi této oceli jsou právě pevnost, tvrdost a vysoká otěruvzdornost. Vyšší pořizovací náklady by kompenzoval výrazně kratší celkový výrobní čas.

7.2 Ekonomické zhodnocení

Výrobní proces je realizován na několika výrobních pracovištích. Jednotlivá pracoviště mají odlišené hodinové sazby. Ty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 7-1 - Hodinové sazby.

Pracoviště	Sazba [Kč/h]
Laser	2600
Soustruh 40/1500, frézka FA 3 AV	550
Soustruh MAS SP 280, frézka MCV 1016	1100
Tepelné zpracování (vsázka 5000 Kč)	100 Kč/ks
Ohraňovací lis	700
Svařování	650
Dokončovací práce	400

Do hodinových sazeb jsou započítány veškeré náklady na provoz stroje. V tabulce jsou uvedeny celkové výrobní náklady. Pro kusovou výrobu jsou u technologie třískového obrábění zvoleny pro dvě součásti konvenční stroje, pro jednu součást CNC stroje.

Tabulka 7-2 – Výrobní náklady kusové výroby.

Popis operace	Čas [h]	Sazba [Kč/h]	Náklady [Kč]
Laser	0,23	2600	598
Třískové obrábění			
Součást 4	1	550	550
Součást 5	0,42	550	231
Součást 11	1,62	1100	1782
Tepelné zpracování	3,9	100 Kč/ks	100
Ohýbání	0,07	700	49
Svařování	0,90	650	585
Dokončovací práce	0,72	400	288
Celkové náklady			4183

V malosériové výrobě 100 ks jsou všechny tři součásti vyráběny na CNC strojích.

Tabulka 7-3 – Výrobní náklady malosériové výroby.

Popis operace	Čas [h]	Sazba [Kč/h]	Náklady [Kč]
Laser	10,3	2600	26 780
Třískové obrábění	243,3	1100	267 630
Tepelné zpracování	9,7	100 Kč/ks	10 000
Ohýbání	6,6	700	4 620
Svařování	90	650	58 500
Dokončovací práce	71,6	400	28 640
Celkové náklady			396 170

Celkové náklady na výrobu 100 ks jsou **396 170 Kč**. Z toho vyplývá, že náklady na výrobu jednoho kusu jsou **3962 Kč**.

Rozdíl ve výrobních nákladech mezi kusovou a malosériovou výrobou:

$$4183 \text{ Kč} - 3962 \text{ Kč} = 221 \text{ Kč}$$

Náklady na nakupované položky

Mezi nakupované položky patří ocelové plechy, normalizované tyče, spojovací materiál a pryžové profily. U ocelových plechů jsou počítány náklady pouze za použitý podíl z tabule.

Tabulka 7-4 - Cena nakupovaných položek.

Č.	Označení	Cena
1	Ocelový plech S355, 4x1500x3000 mm	2800
2	Ocelový plech S355, 6x1500x3000 mm	5400
3	Ocelový plech S355, 10x1500x3000 mm	8600
4	Normalizovaná tyč S355, 45x45x3000 mm	1410
5	Normalizovaná tyč S355, Ø50x3000 mm	1100
6	Normalizovaná tyč C45, Ø45x3000 mm	1050
7	Kolík ISO 2338, 4x40 mm	2,8
8	Šroub DIN 933, M6x30 mm	0,5
9	Matice DIN 985, M6	0,2
10	Podložka DIN 125, 7	0,1
11	Pružina ČSN 42 6450, 1,25x17,3x130x17,5 mm	22
12	Pryžový profil 1000 mm	320

Tabulka 7-5 - Náklady na nakupované položky.

Č.	Označení	Počet kusů	Požadovaný rozměr [mm]	Náklady [Kč]
1	Ocelový plech t = 4 mm	1	1500x200	187
2	Ocelový plech t = 6 mm	1	500x1200	720
3	Ocelový plech t = 10 mm	1	30x400	23
4	Tyč 45x45 mm	1	112	53
5	Tyč Ø50 mm	1	15	6
6	Tyč Ø45 mm	1	212	75
7	Kolík ISO 2338	1	4x40	3
8	Šroub DIN 933	5	M6x30	3
9	Matice DIN 985	5	M6	1
10	Podložka DIN 125	5	7	1
11	Pružina ČSN 42 6450	1	1,25x17,3x130x17,5	22
12	Pryžový profil	1	1100	350
	Celkové náklady 1 ks			1 444
	Celkové náklady 100 ks			144 400

Celkové náklady jsou získány součtem výrobních nákladů s nákladů nakupovaných položek včetně materiálu. Výrobní náklady na jeden kus jsou 4183 Kč a náklady nakupovaných položek jsou 1444 Kč.

Tabulka 7-6 - Celkové náklady - jeden kus.

Druh nákladů	Cena [Kč]	Procentuální podíl z ceny [%]
Výrobní náklady	4 183	74,3
Nakupované položky	1 444	25,7
Celkové náklady	5 627	

Tabulka 7-7 - Celkové náklady - sto kusů.

Druh nákladů	Cena [Kč]	Procentuální podíl z ceny [%]
Výrobní náklady	396 170	73,3
Nakupované položky	144 400	26,7
Celkové náklady	540 570	

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh výrobní technologie pro zdvihací zařízení chladiče traktoru. V diplomové práci bylo dosaženo těchto výsledků:

- podle požadavků zákazníka a výkresové dokumentace byl pro jednotlivé součásti navržen vhodný materiál. U součástí jedna až deset byla hlavním kritériem svařitelnost. Byla zvolena nelegovaná jemnozrnná konstrukční ocel 11 523 s předepsanou hodnotou uhlíku maximálně 0,2 %. Tato ocel se kromě svařitelnosti vyznačuje zvýšenou mezí kluzu a dobrou obrobiteľností. Pro součást jedenáct, bezpečností čep, je předepsáno tepelné zpracování. S ohledem na tuto skutečnost je navržena ocel 12 050, která je vhodnější k zušlechťování,
- pro výrobu kompletního zdvihacího zařízení byly navrženy jednotlivé výrobní technologie. U jednotlivých technologií jsou zvoleny stroje a nástroje s ohledem na možnosti a strojní vybavení podniku. V oblasti třískového obrábění firma vlastní převážně stroje od firmy KOVOSVIT MAS, u nástrojů spolupracuje s firmou Sandvik Coromant. Proto jsou zvoleny stroje a nástroje od těchto dodavatelů. Pro dané stroje a nástroje byly k jednotlivým operacím navrženy a dopočítány řezné podmínky podle hodnot doporučených výrobcem. Tyto teoretické řezné podmínky byly ověřeny ve výrobě. Některé hodnoty řezných podmínek byly upraveny za účelem snížení vibrací, zvýšení kvality povrchu a prodloužení trvanlivosti břitu.
- byla spočítána časová náročnost navržených výrobních technologií. Pro třískové obrábění byly vytvořeny technologické postupy obsahující kromě časové náročnosti také výběr nástrojů se stanovenými řeznými podmínkami pro každou operaci. U obrábění jsou navrženy dva výrobní postupy. Jeden je navržen pro CNC stroje, druhý pro konvenční stroje. Porovnáním těchto dvou navržených postupů bylo rozhodnuto o použití vhodnějšího varianty. Čas třískového obrábění je 182 minut. Největší časovou náročnost představuje tepelné zpracování 234 minut. Celkový výrobní čas včetně řezání na laseru, ohýbání, svařování a dokončovacích prací je 531 minut.
- byl navržen a spočítán postup pro případnou malosériovou výrobu zdvihacích zařízení. S ohledem na vyšší produktivitu byla pro třískové obrábění zvolena výroba pouze na CNC strojích. Čas pro 100 ks je 25 898 minut. Časové úspory vznikají u obrábění nebo u tepelného zpracování, kde je možné zušlechťovat několik součástí zároveň.
- výrobní náklady byly vyčísleny na 4 183 Kč. Náklady na nakupované položky jako materiál, spojovací materiál nebo pryžové profily byly 1 444 Kč. Celkové náklady na výrobu jednoho zdvihacího zařízení činily 5 627 Kč. Náklady pro eventuální výrobu 100 ks jsou 540 570 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BIGOŠ, Peter. *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012, 356 s. ISBN 978-80-553-1187-6.
- [2] REMTA, František, Ladislav KUPKA a František DRAŽAN. *Jeřáby 1. díl. 2. přepracované a doplněné vydání*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974
- [3] POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2001. ISBN 80-248-0043-8
- [4] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986, 265 s.
- [5] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [6] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [7] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [8] RENISHAW *Snímací systémy pro CNC obráběcí stroje* [online]. 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/en/renishaw-enhancing-efficiency-in-manufacturing-and-healthcare--1030>
- [9] Fiber LASER. *Leonardo Technology* [online]. 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-vlaknoveho-fiber-laseru>
- [10] ČSN 41 1523. *41 - HUTNICTVÍ - MATERIÁLOVÉ LISTY OCELÍ*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [11] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [12] ČSN 41 2050. *41 - HUTNICTVÍ - MATERIÁLOVÉ LISTY OCELÍ*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [13] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd.* Praha: Scientia, 2001. ISBN 8071832456.
- [14] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_d	$[\text{mm}^2]$	Průřez třísky
a_e	$[\text{mm}]$	Šířka záběru ostří
a_p	$[\text{mm}]$	Hloubka záběru ostří
CNC	$[-]$	Počítačem řízené stroje
CVD	$[-]$	Chemical vapour deposition
D	$[\text{mm}]$	Průměr nástroje
f_{ot}	$[\text{mm}]$	Posuv na otáčku
f_z	$[\text{mm}]$	Posuv na zub
F_c	$[\text{N}]$	Řezná síla
HRC	$[-]$	Tvrdost podle Rockwella
HSS	$[-]$	High speed steel
k_c	$[\text{MPa}]$	Měrný řezný odpor
m	$[\text{kg}]$	Hmotnost
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky za minutu
P_c	$[\text{kW}]$	Řezný výkon
R_a	$[\mu\text{m}]$	Střední aritmetická úchylka profilu
R_e	$[\text{MPa}]$	Mez kluzu
R_m	$[\text{MPa}]$	Mez pevnosti
r_e	$[\text{mm}]$	Poloměr špičky
SK	$[-]$	Slinutý karbid
VBD	$[-]$	Výměnná břitová destička
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	Řezná rychlost
v_f	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	Posuv za minutu
z	$[-]$	Počet zubů nástroje

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti	Součást 1
Příloha 2	Výkres součásti	Součást 2
Příloha 3	Výkres součásti	Součást 3
Příloha 4	Výkres součásti	Součást 4
Příloha 5	Výkres součásti	Součást 5
Příloha 6	Výkres součásti	Součást 6
Příloha 7	Výkres součásti	Součást 7
Příloha 8	Výkres součásti	Součást 8
Příloha 9	Výkres součásti	Součást 9
Příloha 10	Výkres součásti	Součást 10
Příloha 11	Výkres součásti	Součást 11
Příloha 12	Výkres sestavy	Sestava
Příloha 13	Výrobní program	Součást 4

